

ESTUDO DE UM RECIFE ARTIFICIAL PARA *SURF* E DEFESA COSTEIRA NA PRAIA DE ESPINHO EM MATERIAIS GEOSSINTÉTICOS

ANDRÉ FILIPE DE OLIVEIRA LARANJEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Fernando Francisco Machado Veloso
Gomes

JULHO DE 2010

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2009/2010 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

*À minha família,
À Cândida*

*estavam os homens as águas os animais e as terras / cansados de luz e de não haver noite
/ levantei a mão / fiz rodar a terra para que se retirasse o sol / enrolei os dedos nas últimas
fulgurações / teci com os cintilantes fios / a misteriosa linguagem dos astros // depois / fui
pela escura abóbada / estendi a fantástica tapeçaria / para que lá em baixo ninguém
perdesse o seu caminho / e nela pudesse adivinhar o doloroso humano destino // a noite
ficou assim tão habitada quanto a terra / os homens podem hoje sonhar com aquilo que mal
entendem / e quando o medo atribuiu um nome àquele luzeiro / dei por terminada a obra /
cortei os fios como se cortasse um pedaço de mim / fui para outro hemisfério adormecer o
dia / construir a pirâmide o quadrado o círculo a linha recta / as cores do mundo / e dar vida
a outras incandescentes criaturas*

Al Berto, in O Medo

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, queria deixar desde já o meu sincero agradecimento ao Paulo Cunha, meu antigo colega de curso, surfista e, de certo modo, um dos responsáveis pela escolha do tema desta tese, resultado de uma conversa na qual me referiu a recente tecnologia de recifes artificiais para surf, tema pelo qual me interessei imediatamente e do qual, confesso, nunca tinha ouvido falar até à altura. Tenho a agradecer-lhe o apoio prestado na fase de resposta aos inquéritos, aproveitando para estender o meu agradecimento a todos os surfistas que tiveram a amabilidade de colaborar na resposta ao mesmo.

Naturalmente, não podia deixar de agradecer ao professor Veloso Gomes, não só pela disponibilidade que demonstrou ao aceitar o tema proposto como, acima de tudo, pela correcção com que, no meu entender, sempre desempenhou o papel de orientador: aconselhando, propondo, criticando.

Queria igualmente agradecer à Eng^a Luciana Neves e ao Luís Leite, pelo precioso auxílio prestado durante os ensaios no laboratório de hidráulica da FEUP. Ao meu colega Gustavo agradeço também a disponibilização da planta batimétrica de Espinho, em formato digital.

E agora, por terem sido duas das pessoas mais presentes durante o trabalho, não só por mera contingência de lugar (mas também), quero deixar o meu agradecimento ao amigo João Nogueira e ao Sr. António. Ao primeiro, pelo incentivo e, não menos importante, pelos interlúdios literários nas pausas para o cigarro. Ao segundo, por me ter deixado usar livremente a rede *wireless*, bem como a electricidade do seu estabelecimento, facto de grande relevância dada a já avançada idade do meu portátil... Foi um grande apoio à produção técnica!

Para terminar, tenho a agradecer à minha família e à Cândida, por todas as razões e mais algumas.

Obrigado a todos!

RESUMO

A mediatização a que têm sido sujeitos, em anos recentes, os recifes artificiais multifuncionais, tanto na sua vertente funcional de defesa costeira, bem como na sua componente recreativa, contemplando maioritariamente a prática de surf, tem atraído o interesse de diversos agentes e comunidades um pouco por todo o mundo.

O presente trabalho visa aferir, numa fase preliminar, a viabilidade de implantação de um recife artificial multifuncional na praia de Espinho, localizada na costa Noroeste do país. Para além da pesquisa e selecção de material de âmbito teórico com vista à concepção da estrutura, uma análise preliminar ponderada de diferentes soluções técnicas possíveis, foi levada a cabo para diversos cenários. Por outro lado, e dada a grande dependência da concepção deste tipo de obras face às condições locais da área de intervenção, foi efectuado um inquérito a surfistas no sentido de identificar as exigências operacionais e condicionantes locais de projecto inerentes ao caso de estudo.

As crescentes exigências em complexidade que se colocam no cálculo destas estruturas, envolvendo usualmente o recurso a modelos numéricos sofisticados e ensaios físicos à escala reduzida, condicionou, de certa forma, a obtenção de uma versão final do projecto. Com efeito, os resultados que se apresentam devem ser encarados como uma primeira abordagem à configuração base do recife, sendo esta susceptível a modificações numa fase posterior. Nesse sentido, deixam-se já definidas as condições de ensaio numérico a que a estrutura deverá ser submetida numa fase subsequente de projecto.

PALAVRAS-CHAVE: recife, surf, defesa costeira, Espinho

ABSTRACT

The public attention to which multifunctional artificial reefs have been subjected in recent years, both concerning its functionality as a coastal defence structure, as well as its amenity aspects, mainly related to surf, has attracted the interest of several agents and communities worldwide.

The present work aims at evaluating the feasibility for the construction of a multifunctional artificial reef in the beach of Espinho, located in the Northwest coast of Portugal. Besides the required research and material selection on the theoretical background, a preliminary analysis regarding different technical alternatives has been performed for different scenarios. On the other hand, given the design's site specific nature an inquiry targeting the local surfing community has been conducted in order to identify the operational demands and local restrictions associated with the study site.

The increasing demands in complexity over the design of this type of structures, usually involving sophisticated numerical model and physical tests, have put, in a sense, some limitations in obtaining a more comprehensive design of the project. The results presented in this work must thus be regarded as a first approach in setting forth the basic reef design features, which may be susceptible to accommodate several changes on a more advanced stage. Therefore, scenarios concerning a numerical model test have been left prepared for the subsequent stage of design.

KEYWORDS: reef, surf, coastal defense, Espinho

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v

1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS 1

2. RECIFES ARTIFICIAIS MULTIFUNCIONAIS – REVISÃO DA LITERATURA.....3

2.1. ENQUADRAMENTO3

2.2. PERSPECTIVA DE ESTUDOS CONTEMPLANDO A DEFESA COSTEIRA.....3

2.2.1. TRABALHOS DE BLACK E ANDREWS3

2.2.1.1. Resposta da Linha de Costa a Estruturas Submersas3

2.2.1.2. Rotação da Crista das Ondas5

2.2.2. TRABALHOS DE RANASINGHE E DIFERENTES COLABORADORES6

2.2.2.1. Análise de Eficiência de Estruturas Submersas6

2.2.2.2. Resposta da Linha de Costa a RAM.....8

2.2.3. CONTRIBUIÇÕES DIVERSAS RELATIVAS A QUEBRAMARES SUBMERSOS E PARCIALMENTE SUBMERSOS.....10

2.2.3.1. Selecção de *Handbook of Coastal Engineering*10

2.2.3.2. Trabalhos de Pilarczyk11

2.2.3.3. *PEP Reefs™* e *Beachsaver Reefs™*12

2.2.3.4. Projecto DELOS14

2.2.4. CRÍTICA E CONCLUSÕES18

2.3. LINHAS DE CONCEPÇÃO CONTEMPLANDO A PRÁTICA DE SURF.....18

2.3.1. ENQUADRAMENTO18

2.3.2. PARÂMETROS DOMINANTES E EXIGÊNCIAS OPERACIONAIS19

2.3.2.1. Ângulo de Rebentação, α19

2.3.2.2. Altura de Onda, H21

2.3.2.3. Tipo de Rebentação, ξ22

2.3.2.4. Intensidade de Rebentação (*Breaking Intensity*), B_i23

2.3.2.5. Convergência de Raios de Onda (*Wave Focusing*).....25

2.3.3. INTERACÇÃO DA ONDA COM O FUNDO.....	26
2.3.3.1. Refracção	26
2.3.3.2. “Surfabilidade” por Controlo de Refracção	27
2.3.4. CONTEXTO ESPECÍFICO DA COSTA OCIDENTAL PORTUGUESA	29
2.3.5. SURF JUNTO A SINGULARIDADES DE OCORRÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL – NOTA BREVE.....	30
2.4. RECIFES ARTIFICIAIS ASSOCIADOS À PRÁTICA DE SURF – ESTADO DE ARTE	31
2.4.1. ENQUADRAMENTO	31
2.4.2. DESCRIÇÃO DE CASOS	31
2.4.2.1. Recife de Bargara (Queensland, Costa Ocidental da Austrália)	31
2.4.2.2. Recife Cables (Perth, Costa Ocidental da Austrália)	32
2.4.2.3. Recife de Narrownack (Gold Coast, Costa Ocidental da Austrália)	33
2.4.2.4. Recife Pratte (El Segundo, Califórnia, EUA)	36
2.4.2.5. Recife de Mount (Mount Maunganui, Costa Ocidental da Nova Zelândia)	38
2.4.2.6. Recife de Opunake (Taranaki District, Costa Ocidental da Nova Zelândia)	39
2.4.2.7. Recife de Boscombe (Bournemouth, Sul do Reino Unido)	40
2.4.2.8. Outros Casos de Interesse	41
2.4.2.9. Conclusões	42
2.4.3. ANÁLISE CRÍTICA	43
 3. ÁREA DE INTERVENÇÃO: ESPINHO	 45
3.1. JUSTIFICAÇÃO SUMÁRIA DA OPÇÃO POR ESPINHO	45
3.1.1. DE ORDEM TÉCNICA GERAL	45
3.1.2. DE NATUREZA DESPORTIVA E SÓCIO-ECONÓMICA – NOTA BREVE	46
3.2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO	47
3.2.1. HISTORIAL DE INTERVENÇÃO COSTEIRA	47
3.2.2. DADOS BATIMÉTRICOS	49
3.3. DOCUMENTAÇÃO DE SURFISTAS EM ACÇÃO	49
3.4. TRATAMENTO E ANÁLISE DE INQUÉRITOS.....	52
3.4.1. ÂMBITO E ESTRUTURA DO INQUÉRITO.....	52
3.4.2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA INQUIRIDA	52
3.4.3. EXIGÊNCIAS OPERACIONAIS.....	55
3.4.3.1. Condicionantes Locais à Prática de Surf	55
3.4.3.2. Características Preferenciais para o Surf (tipo de <i>surf ride</i>)	57

3.4.3.3. Identificação de Locais.....	58
3.4.4. CONCLUSÕES.....	60
3.5. PRESSUPOSTOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO	63
3.5.1. DISCUSSÃO E FIXAÇÃO DE PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO.....	63
3.5.1.1. Níveis de Maré	63
3.5.1.2. Isóbata de Referência	64
3.5.1.3. Alturas de Onda	64
3.5.1.4. Períodos de Onda	65
3.5.1.5. Direcção Média da Agitação ao Largo	65
3.5.1.6. Nível Médio do Praticante – Público Alvo	66
3.5.2. DADOS DE PROJECTO	67
3.5.3. CONDICIONANTES IMPOSTAS PELO LOCAL	67
 4. CONCEPÇÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO	 69
4.1. PROPOSTA E DISCUSSÃO DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES.....	69
4.1.1. FASE 1: APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS.....	69
4.1.2. FASE 2: ANÁLISE COMPARATIVA E EXCLUSÃO DE HIPÓTESES	72
4.1.2.1. Classificação de Hipóteses por Critério	72
4.1.2.2. Classificação de Hipóteses por Cenário	77
4.1.3. FASE 3: SOLUÇÕES VIÁVEIS	82
4.2. ENSAIO EXPEDITO EM MODELO FÍSICO	82
4.2.1. OBJECTIVOS E CONDIÇÕES DE ENSAIO	82
4.2.2. RESULTADOS E OBSERVAÇÕES.....	84
4.3. DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR	87
4.3.1. POSICIONAMENTO DA ESTRUTURA	87
4.3.1.1. Definição do Recife em Planta.....	87
4.3.1.2. Orientação da Estrutura	95
4.3.2. DEFINIÇÃO DO PERFIL TRANSVERSAL.....	97
4.3.3. CONFRONTAÇÃO COM MÉTODOS CLÁSSICOS DE PREVISÃO	102
 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	 107
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS AO TRABALHO REALIZADO	107
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	108

BIBLIOGRAFIA..... 113

ANEXO A1 – RESULTADOS RELATIVOS AOS QUESTIONÁRIOS PRELIMINARES CONDUZIDOS NO ÂMBITO DO PROJECTO DELOS

ANEXO A2 – FORMULÁRIO E DADOS DE INQUÉRITO

ANEXO A3 – TABELAS REFERENTES À ANÁLISE PRELIMINAR

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1. – Ilustração das variáveis intervenientes na resposta da linha de costa segundo Black e Andrews, 2001 (adaptado de ASR America, 2008)	4
Fig.2.2. – Amplitude relativa de saliência em função de L_s/X (adaptado de ASR America, 2008)	5
Fig.2.3. – Esquema idealizado de um recife reorientando a crista das ondas (adaptado de Black e Mead, 2001)	6
Fig.2.4. – Análise de variáveis e tipo de resposta associado a estruturas submersas (Ranasinghe e Turner, 2006)	7
Fig.2.5. – Planta elucidativa das estruturas submersas construídas em Lido di Dante (Delos, 2003a) ..	7
Fig.2.6. (a) – Células divergentes em resultado da excessiva proximidade do recife à costa (Ranasinghe <i>et al</i> , 2006)	8
Fig.2.6. (b) – Células convergentes junto à costa em resultado do afastamento do recife (Ranasinghe <i>et al</i> , 2006)	9
Fig.2.7. – Resposta da linha de costa a um RAM (adaptado de Ranasinghe <i>et al</i> , 2006)	10
Fig.2.8. – Padrões habituais de circulação hidrodinâmica a sotamar de recifes (adaptado de Pilarczyk, 2003a; fonte: Japanese Manual, 1988)	12
Fig.2.9. (a) – Unidade <i>PEP Reef</i> (Stauble e Tabar, 2003)	13
Fig.2.9. (b) – Unidade <i>Beachsaver Reef</i> (Stauble e Tabar, 2003)	13
Fig.2.10. – Localização da instalação de um recife <i>Beachsaver</i> em Avalon, New Jersey (Stauble e Tabar, 2003)	13
Fig.2.11. – Formação de tómbolos em resultado da existência de estruturas submersas em Agrigento, Sicília (Delos, 2003a)	15
Fig.2.12. – Velocidade característica segundo um transepto da estrutura até à costa, em função da largura de coroamento relativamente à largura da zona de surf, para duas alturas de onda significativa, incidência normal e afastamento de 150 m (Sánchez-Arcilla <i>et al</i> , 2004)	16
Fig.2.13. – Ângulo de rebentação, α , V_p e V_s (adaptado de Van Ettinger, 2005; fonte: surfermag.com, Sean Davey)	19
Fig.2.14. – Ábaco apresentando a relação análoga à da tabela 2.2, de acordo com Hutt <i>et al</i> , 2001 (adaptado de Henriquez, 2004)	20
Fig.2.15. – Isolinhas de V_s relacionando a altura de onda com o ângulo de rebentação e aptidão técnica do surfista (adaptado de West, 2002, após Walker, 1974)	21
Fig.2.16. – Tipo de rebentação preferencial em função do tipo de surf praticado (fonte: www.coastalmanagement.com.au)	23
Fig.2.17. – Definição geométrica do vórtice de um “tubo” (Mead e Black, 2001, após Black <i>et al</i> , 1997)	23
Fig.2.18. – Correlação linear entre l_v/w_v e o gradiente ortogonal dos fundos (Mead e Black, 2001)	24

Fig.2.19. – Quantificação da intensidade de rebentação, B_i , segundo descrita por Mead e Black (2001).....	25
Fig.2.20. – Reprodução esquemática do fenómeno de <i>wave focusing</i> (adaptado de Van Ettinger, 2005).....	26
Fig.2.21. – Refracção de ondas incidentes em diferentes profundidades (adaptado de Van Ettinger, 2005).....	27
Fig.2.22. – Sequência de refracção e rebentação das ondas segundo Mead e Black, 1999, 2001 (adaptado de Henriquez <i>et al</i> , 2006).....	28
Fig.2.23. – Ábaco relacionando $\alpha_{\text{máx}}$ obtido em função da profundidade mínima da plataforma, alturas e períodos de onda frequentes, para um ângulo de incidência de 66° (adaptado de Henriquez <i>et al</i> , 2006).....	28
Fig.2.24. – Localização proposta para o recife multifuncional de Jumeirah, Dubai (Smit <i>et al</i> , 2007).....	29
Fig.2.25. – Refracção de ondas em torno do esporão de Kirra Point, Gold Coast, Austrália, criando um local propício ao surf (fonte: <i>Tracks Magazine</i> , 2000, citada em Phillips <i>et al</i> , 2009)	31
Fig.2.26. – Planta inicial do recife de Cables (adaptado de Jackson e Corbett, 2007)	33
Fig.2.27. – Vista aérea do recife de Narrownneck em condições de nível de maré reduzida (ASR America, 2008)	34
Fig.2.28. – Vista 3D do recife de Narrownneck por Black e Mead, 2001 (fonte: ASR America, 2008) ..	35
Fig.2.29. – Planta do recife de Pratte (adaptado de Borrero e Nelson, 2003)	37
Fig.2.30. – Recife de Mount Maunganui na sua versão final (adaptado de <i>Understand, Innovate, Sustain</i> – ASR reef presentation by Dr. Kerry Black).....	39
Fig.2.31. – Recife de Boscombe testado em modelo numérico (Black e Mead, 2009)	41
Fig.2.32. – Representação da planta e perfil transversal do recife de Cascais, por Bicudo <i>et al</i> , 2007 (Proença, 2009)	42
Fig.3.1. – Evolução da situação costeira de 1993 a 2002 na zona preferencial de implantação da obra (adaptado por Pereira, 2008; fonte: Pires, 2006)	48
Fig.3.2. – Representação do levantamento batimétrico à data de Julho de 1988, segundo constante em Mota Oliveira, 1991 (Costa, 2009).....	49
Fig.3.3. – Praticante “surfando” uma onda “cavada” (regime de rebentação mergulhante)	50
Fig.3.4. – Praticante “surfando” uma onda “mole” (regime de rebentação progressiva)	50
Fig.3.5. – Dificuldade de execução devido à ocorrência de uma secção em <i>close-out</i>	51
Fig.3.6. – Surf em condições de altura de ondulação reduzida	51
Fig.3.7. – Praticante “surfando” a sotamar da cabeça de um esporão	51
Fig.3.8. – Surfista (à esquerda) posicionando-se para “apanhar” uma onda, e outro (à direita) em plena “largada” (surfinside.com)	52
Fig.3.9. – Indicação dos locais de qualidade actualmente existentes para a prática de surf	61
Fig.3.10. – Indicação dos locais preferenciais para a instalação do recife	62

Fig.3.11. – Frequência de incidência de agitação na costa Oeste portuguesa registada ao largo de Leixões (EUrosion, 2006; fonte: dados do Instituto Hidrográfico – bóia de Leixões, 42852 observações de 25/05/2001 a 03/05/2002, 06:31)	66
Fig.3.12. – Definição geométrica de áreas protegidas	68
Fig.4.1. – Hipótese 1, correspondente à regularização dos fundos.....	69
Fig.4.2. – Hipótese 2, solução em quebramar destacado adaptado	70
Fig.4.3. – Hipótese 3, solução mista entre quebramar submerso e recife	70
Fig.4.4. – Hipótese 4, correspondente a uma solução em delta.....	71
Fig.4.5. – Planta do recife de Narrowneck, correspondente à solução 5 (apresentação da empresa ASR Ltd. – <i>Multi-Purpose Ocean Reefs: Understand, Innovate, Sustain</i> , by Dr. Kerry Black).....	71
Fig.4.6. – Esquema de funcionamento de um recife <i>rotacional</i> , correspondente à solução 6 (apresentação da empresa ASR Ltd. – <i>Multi-Purpose Ocean Reefs: Understand, Innovate, Sustain</i> , by Dr. Kerry Black)	72
Fig.4.7. – Caracterização do local de ensaio	82
Fig.4.8. – Talude ensaiado.....	83
Fig.4.9. (a) – Fase inicial de rebentação sobre a primeira secção do talude	84
Fig.4.9. (b) – Imagem sequencial do início de rebentação representado na figura 4.9 (a)	85
Fig.4.10. – Rebentação simultânea de uma secção da crista (<i>closing-out</i>)	86
Fig.4.11. – Deslocamento dos sacos após um dos ensaios.....	86
Fig.4.12. – Representação esquemática do “recife tipo”, em planta, e respectiva nomenclatura das dimensões associadas	88
Fig.4.13. – Definição geométrica aproximada da zona de surf.....	89
Fig.4.14. – Posicionamento em planta do recife multifuncional proposto para Espinho (cotas batimétricas ao ZH e dimensões em metros – representação esquemática, sem definição de escala)	94
Fig.4.15. – Perfil convexo proposto por Black e Blenkinsopp, 2002 (adaptado de Hearin – ASR, 2008)	98
Fig.4.16. – Perfil convexo do recife	100
Fig.4.17. – Vista 3D da configuração aproximada do recife (representação esquemática, com escala vertical distorcida)	106

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1. – Resposta da linha de costa a uma estrutura submersa em função das variáveis L_s e X segundo Black e Andrews, 2001 (ASR America, 2008).....	4
Tabela 2.2. – Altura e ângulo de rebentação “surfáveis” em função das aptidões técnicas dos praticantes segundo a classificação de Hutt <i>et al</i> , 2001 (adaptado de Henriquez, 2004)	20
Tabela 2.3. – Classificação do tipo de rebentação <i>inshore</i>	22
Tabela 2.4. – Síntese das características funcionais dos principais recifes existentes até à data.....	43
Tabela 3.1. – Análise preliminar da viabilidade técnica do projecto (adaptação, seguindo o proposto em Mathew <i>et al</i> , 2003)	46
Tabela 3.2. – Descrição da amostra obtida no inquérito.....	54
Tabela 3.3. – Quantificação da amostra obtida por nível de experiência e estilo.....	54
Tabela 3.4. – Principais entraves mencionados relativamente às condições “óptimas” para surf em Espinho.....	55
Tabela 3.5. – Preferências dos praticantes relacionadas com as características de ondulação.....	57
Tabela 3.6. – Identificação de locais já favoráveis ao surf / posicionamento preferencial para o recife	59
Tabela 3.7. – Tipo de estrutura preferencial nos locais mais indicados	59
Tabela 3.8. – Níveis de maré ocorrentes na costa Atlântica portuguesa referidos ao ZH de Leixões (1,77 m abaixo do NMA) de acordo com dados do IHRH, 1999 (Pereira, 2008).....	63
Tabela 3.9. – Níveis de maré adoptados no dimensionamento preliminar	64
Tabela 3.10. – Parâmetros de dimensionamento estrutural	67
Tabela 3.11. – Parâmetros/exigências operacionais relativas ao surf	67
Tabela 4.1. (a) – Matriz de classificação preliminar das hipóteses 1 e 2.....	74
Tabela 4.1. (b) – Matriz de classificação preliminar das hipóteses 3 e 4.....	75
Tabela 4.1. (c) – Matriz de classificação preliminar das hipóteses 5 e 6.....	76
Tabela 4.2. – Peso percentual atribuído a cada um dos critérios em função do cenário	78
Tabela 4.3. – Cálculo do cenário 1	81
Tabela 4.4. – Resultados Globais	81
Tabela 4.5 – Condições de ensaio	83
Tabela 4.6. – Características de instalação do modelo ensaiado.....	83
Tabela 4.7. – Definição da largura da zona de surf, SZW	88
Tabela 4.8. – Razão entre o comprimento longitudinal do recife, L_s , e a distância da sua base à costa, X	91
Tabela 4.9. – Distância do vértice do recife à costa, S_a , dada em função do seu comprimento longitudinal, L_s , e a distância da sua base também à linha de costa, X	91

Tabela 4.10. – Comparação de resultados obtidos pelos dois métodos	93
Tabela 4.11. – Ângulo local de refração de onda, $\theta_{r,i}$, em função do comprimento de onda e celeridade locais, L_w e c_w , respectivamente, para diferentes níveis de profundidade, h_c	96
Tabela 4.12. – Cálculo do gradiente normal do talude	101
Tabela 4.13. – Intensidade de rebentação em função do ângulo de rebentação, para o perfil calculado	102
Tabela 4.14. – Relações de validação para efectividade de protecção costeira	103
Tabela 4.15. – Dados para o cálculo de K_t	103
Tabela 4.16. – Comparação entre formulações relativas a estruturas destacadas submersas e RAM.....	104
Tabela 4.17. – Resposta da linha de costa segundo a formulação de Pilarczyk variando a altura de onda incidente	105
Tabela 4.18. – Resposta da linha de costa a sotamar de uma estrutura destacada (adaptado de Hearin – ASR, 2008)	105
Tabela 4.19. – Tipo de resposta morfodinâmica em função de I_s , por Ahrens e Cox, 1990 (adaptado de CEM – USACE, 2002)	106

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

AHD – *Australian Height Datum*, correspondente ao nível de carta “zero” adoptado em 1971 na Austrália, com base em registos maregráficos recolhidos em trinta locais ao longo da costa australiana entre 1966 e 1968.

B – largura da crista de um quebramar [m]

B_{eq} – largura da crista equivalente aplicada a um recife artificial em delta, no contexto da análise de quebramares convencionais [m]

B_i – intensidade de rebentação da onda de surf

c – celeridade da onda [m/s]

c_i – celeridade da onda incidente ao largo [m/s]

c_r – celeridade da onda refractada [m/s]

c_w – celeridade local da onda [m/s]

d_b – profundidade de rebentação da onda [m]

D_{tot} – comprimento longitudinal da saliência [m]

dx – espaçamento horizontal entre secções do perfil transversal do talude do recife [m]

dy – espaçamento vertical entre secções do perfil transversal do talude do recife [m]

g – coeficiente de aceleração gravítica, aproximado a $9,81 \text{ m/s}^2$ [m/s²]

G – espaçamento entre quebramares consecutivos [m]

h – profundidade da água [m]

h_{hor_tal} – extensão total de uma secção hipotética do talude convexo segundo a direcção horizontal [m]

h_{ver_tal} – extensão total de uma secção hipotética do talude convexo segundo a direcção vertical [m]

H_0 – altura da onda ao largo [m]

$H_{1/10}$ – altura de onda correspondente à média do décimo superior de alturas de onda registadas [m]

H_b – altura da onda no momento de rebentação [m]

h_c – profundidade da cota de coroamento face a determinado nível de maré [m]

H_i – altura da onda incidente [m]

h_{rec} – altura total do talude do recife no contexto do ensaio físico realizado [m]

H_s – altura da onda significativa, correspondente à média do terço superior de alturas de onda registadas [m]

H_{so} – altura de onda significativa ao largo [m]

H_t – altura de onda transmitida [m]

i – inclinação média dos fundos naturais

k – número de onda

K_t – coeficiente de transmissão

K_{ti} – limite inferior do coeficiente de transmissão segundo a formulação de D'Angremond *et al* (1996) corrigida por Briganti *et al* (2003), tomando o valor de 0,05

K_{tu} – limite superior do coeficiente de transmissão segundo a formulação de D'Angremond *et al* (1996) corrigida por Briganti *et al* (2003), tomando o valor obtido por $-0,006(B/H_i)+0,93$

L – comprimento de onda [m]

L_0 – comprimento de onda ao largo [m]

L_s – extensão longitudinal de quebramar/recife artificial [m]

l_v – comprimento do vórtice da onda [m]

L_w – comprimento de onda local [m]

N_{bmV} – nível de maré adoptado em baixa-mar de águas vivas média [m]

N_{dim} – nível de água de dimensionamento [m]

NMA – Nível Médio Adoptado no País, correspondente ao nível médio do mar em Cascais, determinado a partir de cinquenta anos de dados maregráficos centrados em 1910 [m]

NME – nível médio da água do mar correspondente ao valor médio da amplitude de maré extrema [m]

NMF – nível médio da água do mar correspondente ao valor médio da amplitude de maré mais frequente [m]

N_{PMS} – nível de maré em preia-mar de sizígia [m]

N_{pmV} – nível de maré adoptado em preia-mar de águas vivas média [m]

R_c – distância livre entre a máxima cota de coroamento de uma estrutura e o nível de maré [m]

s – inclinação normal das secções do talude de um recife

S – submergência do recife [m]

s' – inclinação ortogonal das secções do talude de um recife, definida segundo a direcção do raio de onda incidente

S_a – distância entre o vértice mais ao largo de um recife artificial em delta e a linha de costa [m]

s_{op} – declividade da onda ao largo

SZW – largura da zona de surf (*surf zone width*) [m]

T – período de onda [s]

T_p – período de pico [s]

w_v – largura do vórtice da onda [m]

X – distância da estrutura à linha de costa (medida desde o eixo longitudinal em quebramares, e desde a base da estrutura para um recife artificial em delta) [m]

X_{off} – distância da estrutura ao pico de saliência [m]

X_{st} – extensão de um recife em delta segundo a direcção normal à costa, medida do vértice à base [m]

X_{str} – largura relativa do coroamento de uma estrutura submersa [m]

X_{surf} – largura da zona de surf; definição análoga a SZW, aplicada no contexto de estruturas submersas convencionais [m]

Y_{off} – amplitude máxima de saliência [m]

ZH – zero hidrográfico

Z_{LC} – cota da isóbata adoptada para o nível de dimensionamento / linha de costa de referência [m]

α – ângulo de rebentação (*peel angle*) [°]

$\alpha_{m\acute{a}x}$ – ângulo de rebentação máximo para uma dada incidência do raio de onda relativamente ao ângulo do recife [°]

β_i – ângulo entre o eixo longitudinal da estrutura e a direcção do raio de onda incidente [°]

θ_0 – ângulo de incidência da onda ao largo [°]

θ_i – ângulo de incidência da onda [°]

$\theta_{r,i}$ – ângulo da onda refractada relativamente a um contorno batimétrico normal, dos fundos ou do talude de um recife [°]

θ_{rec} – ângulo médio entre os contornos do talude do recife e a direcção do raio da onda incidente [°]

θ_t – ângulo da onda transmitida [°]

ξ_0 – parâmetro de semelhança de surf (número de Iribaren) para uma onda ao largo

ξ_∞ – parâmetro de semelhança de surf ao largo segundo o critério de Kaminsky e Kraus

ξ_b – parâmetro de semelhança de surf para uma onda no momento de rebentação (*inshore*)

ξ_{op} – parâmetro de semelhança de surf ao largo de acordo com a formulação de K_t proposta por D'Angremond *et al* (1996) corrigida por Briganti *et al* (2003)

γ_b – parâmetro de rebentação (*breaking criterion*)

1

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

O presente trabalho tem como objectivo o dimensionamento preliminar de um recife artificial multifuncional (RAM) a ser instalado na praia de Espinho, contemplando as vertentes de protecção costeira e melhoria das condições para a prática de surf, consideradas com idêntico grau de relevância. Interessa sublinhar, desde já, que os RAM são uma tecnologia relativamente recente, encontrando-se ainda em fase de desenvolvimento. Por outro lado, a maioria dos estudos levados a cabo até à data incidiram, predominantemente, sobre casos inseridos num contexto marítimo distinto do encontrado na costa Atlântica portuguesa.

Os objectivos que se propõe atingir neste estudo podem sintetizar-se nos pontos seguinte:

- Pesquisa bibliográfica incidindo sobre recifes artificiais multifuncionais, bem como estruturas submersas mais convencionais, no sentido de confrontar os resultados obtidos através de métodos especificamente direccionados ao dimensionamento de RAM (os quais se encontram ainda em fase de desenvolvimento) com métodos clássicos de concepção de obras marítimas;
- Elaboração e realização de um inquérito aos surfistas, de modo a averiguar as condicionantes impostas pelo local ao nível da prática de surf, assim como a definição do âmbito de utilização da estrutura tendo em conta a aptidão técnica do público-alvo considerado;
- Análise preliminar de viabilidade técnica de implantação e diferentes propostas de concepção;
- Pré-dimensionamento de soluções viáveis resultantes da análise preliminar supracitada;
- Realização de ensaios físicos expeditos com o objectivo de avaliar o desempenho da estrutura em fase preliminar;
- Definição das condições para ensaios numéricos visando a concepção definitiva do projecto.

Assim, inicialmente, no capítulo 2, são analisados os aspectos fundamentais relativos à concepção de estruturas desta natureza, tanto na sua vertente dirigida à defesa costeira, como na sua funcionalidade associada à criação de melhores condições para a prática de surf. A literatura considerada como sendo a mais relevante no âmbito deste projecto é exposta e, subsequentemente, criticada, não só nas suas eventuais limitações intrínsecas, como também no contexto do seu domínio de aplicação ao caso de estudo – a costa Atlântica portuguesa e, mais especificamente, a orla costeira do concelho de Espinho. Interessa referir que alguns dos instrumentos técnicos utilizados na concepção de obras desta natureza, e tratando-se de um tipo de estrutura que só recentemente começa a receber atenção por parte da comunidade científica, não se encontram ainda exaustivamente escrutinados e estendidos a um número alargado de contextos de aplicação. Nesse sentido, propôs-se ultrapassar algumas dessas fragilidades através do recurso a métodos clássicos de dimensionamento, usualmente aplicados em obras marítimas mais convencionais, com vista à confrontação e crítica aos resultados obtidos, nomeadamente, no que respeita à previsão de resposta da linha de costa na presença de um RAM. Por outro lado, revelou-se

igualmente difícil a recolha de informação contemplando algumas das especificidades características deste tipo de obra, não só por não se tratarem de informações de acesso livre e gratuito, como também pelo facto de algumas das inovações introduzidas se encontrarem ainda em fase de averiguação, sendo na sua maioria protegidas da comunidade científica pelos respectivos autores. No final do capítulo é ainda apresentado o *estado de arte*, documentando as obras já existentes e analisando-as à luz da literatura aqui referida.

Por seu turno, no capítulo 3, a área de intervenção é brevemente descrita no seu historial, e analisada segundo os dois pontos fulcrais sobre os quais versa o trabalho – prática de surf e defesa da costa – discutindo-se preliminarmente a viabilidade técnica de implantação da estrutura na praia de Espinho. Apresentam-se, também, os resultados de um inquérito realizado junto a alguns elementos representativos da comunidade de surf do concelho, servindo o propósito de identificação das exigências operacionais e condicionantes locais à prática da modalidade. Também com esse intuito, e de forma a ilustrar algumas das especificidades de ordem técnica impostas pela prática de surf, apresenta-se uma breve documentação fotográfica de surfistas em acção, servindo como complemento a alguns dos conceitos introduzidos no capítulo 2. No final do capítulo são discutidos e fixados os pressupostos de pré-dimensionamento, tendo em conta as condicionantes marítimas da área de intervenção, bem como as exigências operacionais inerentes à prática de surf.

No capítulo 4 são propostas diferentes alternativas de concepção, de carácter essencialmente intuitivo, procedendo-se, seguidamente, a uma análise multicritério de natureza preliminar versando cada uma das propostas apresentadas, e da qual se pretende retirar a solução que será alvo de pré-dimensionamento, ainda nesta secção do trabalho. Chama-se a atenção para o facto de, em virtude da complexidade dos fenómenos inerentes ao funcionamento hidro e morfodinâmico de uma estrutura deste tipo, o dimensionamento somente poder ser considerado, na sua forma definitiva, após uma análise pormenorizada de desempenho da sua multifuncionalidade apoiada numa simulação em modelo numérico e posterior estudo físico à escala reduzida. Nesse sentido, e antecedendo o dimensionamento preliminar do recife, apresentam-se resultados de um ensaio físico expedito, realizado não com o intuito de obter a configuração definitiva da estrutura, mas sim de limitar o domínio de algumas das variáveis em causa.

Finalmente, no capítulo 5, são tecidas algumas considerações finais ao trabalho efectuado. Mais do que retirar conclusões definitivas face à viabilidade de implantação de um RAM na praia de Espinho, são apresentadas recomendações para ensaios numéricos futuros, visando o dimensionamento da estrutura numa fase posterior, já que só nessas circunstâncias se poderá aferir o verdadeiro potencial do recife no contexto local do presente estudo.

2

RECIFES ARTIFICIAIS MULTIFUNCIONAIS – REVISÃO DA LITERATURA

2.1. ENQUADRAMENTO

Após uma extensa pesquisa relacionada com recifes artificiais, nas suas vertentes de defesa costeira e contemplando a prática de surf, bem como de estruturas submersas voltadas exclusivamente para a protecção costeira apresentam-se, neste capítulo, as contribuições de diferentes especialistas versando os pontos fundamentais de cada um dos temas.

Como foi já salientado no capítulo 1, a maior parte da literatura trata de casos inseridos em circunstâncias de agitação marítima bastante diferentes das encontradas no presente estudo, essencialmente no que toca às oscilações do nível de maré, mais reduzidas na generalidade dos casos expostos neste capítulo, mas de importância fulcral na averiguação da eficiência deste tipo de estruturas, pelo que se dará particular relevo a este aspecto. Interessa, assim, aferir a compatibilidade entre a eficácia dos RAM enquanto obras de protecção costeira e a sua funcionalidade desportiva, em condições marítimas características da costa Oeste portuguesa, pelo que oportunamente serão introduzidas notas críticas aos temas apresentados.

2.2. PERSPECTIVA DE ESTUDOS CONTEMPLANDO A DEFESA COSTEIRA

2.2.1. TRABALHOS DE BLACK E ANDREWS

2.2.1.1. Resposta da linha de Costa a Estruturas Submersas

Black e Andrews (2001), segundo estudos apresentados em *Journal of Coastal Research, Special Issue 29* (publicação à qual se obteve somente acesso parcial aparecendo, contudo, citado em diversas fontes, entre as quais ASR America, 2008), realizaram um estudo inovador baseado numa análise de registos fotográficos aéreos de algumas saliências de ocorrência natural na Austrália e Nova Zelândia. Ao relacionarem diferentes variáveis físicas que contribuem para o ajustamento natural da linha de costa (em escalas de tempo alargadas) e partindo de um trabalho análogo de Andrews (1997), formularam uma previsão empírica da resposta morfodinâmica da costa a sotamar de recifes submersos. As conclusões materializam-se nas formulações empíricas apresentadas na tabela 2.1 e expressões 2.1 a 2.3.

Tabela 2.1 – Resposta da linha de costa a uma estrutura submersa em função das variáveis L_s e X segundo Black e Andrews, 2001 (ASR America, 2008)

Razão L_s/X	Tipo de Resposta
$\leq 0,1$	Ausência de resposta
$> 0,1$	Formação provável de saliência
$> 0,6$	Formação provável de tómbolo

L_s e X representam, respectivamente, a largura da estrutura submersa segundo a direcção paralela à costa, e a distância da linha da estrutura mais chegada à praia relativamente à linha de costa inicial, tal como representado na figura 2.1.

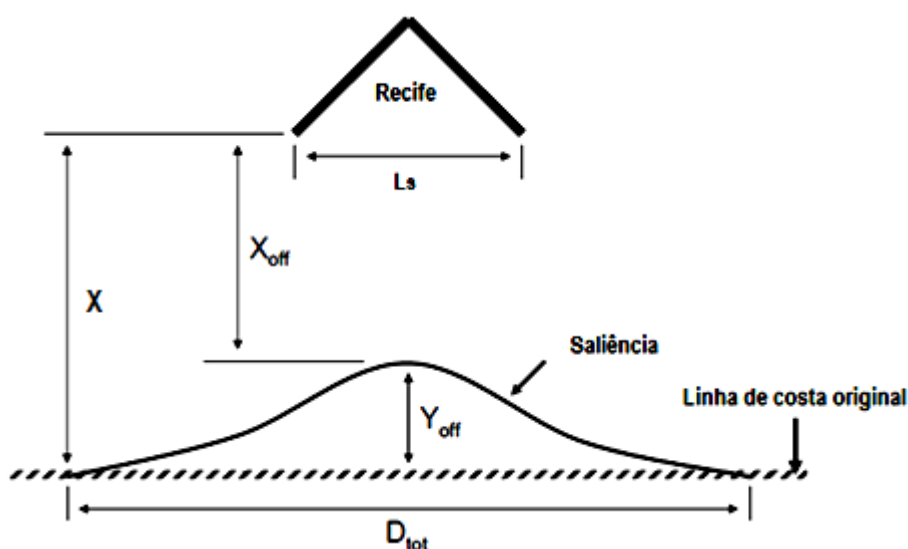


Figura 2.1 – Ilustração das variáveis intervenientes na resposta da linha de costa segundo Black e Andrews, 2001 (adaptado de ASR America, 2008)

De acordo com a notação constante na figura 2.1., as fórmulas empíricas propostas pelos autores são as seguintes:

$$\frac{X_{off}}{L_s} = 0,498 \times \left(\frac{L_s}{X} \right)^{-1,268} \quad (2.1)$$

$$X_{off} = X - Y_{off} \quad (2.2)$$

$$\frac{Y_{off}}{D_{tot}} = 0,125 \pm 0,020 \quad (2.3)$$

É fácil verificar que nenhuma destas fórmulas prevê erosão a sotamar das estruturas o que, à partida, levantará algum cepticismo face ao proposto. Esta situação é analisada em maior profundidade no ponto seguinte, na sequência dos trabalhos de Ranasinghe *et al* (2006) e subsequente crítica apresentada por estes autores aos resultados aqui expostos. Deve referir-se contudo, que posteriormente, Black (2003), citado por ASR America (2008), fez notar que para razões L_s/X superiores a 1 o risco de erosão passaria a ser eminente, devido à compressão das correntes longitudinais que se geram entre a estrutura e a costa. Desse modo, recomenda, assim, um intervalo de dimensionamento de L_s/X compreendido entre 0,25 e 0,50, de forma a minimizar o volume da estrutura (e respectivos custos associados) garantindo ainda a formação de uma saliência de dimensões assinaláveis.

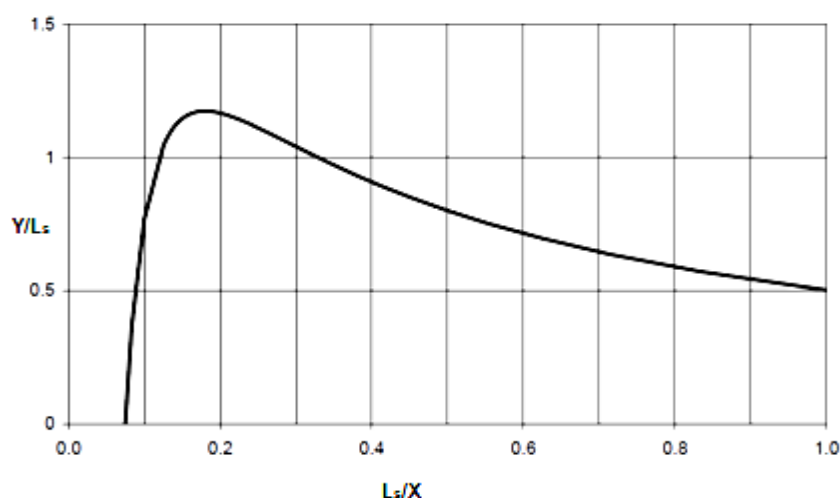


Figura 2.2 – Amplitude relativa de saliência em função de L_s/X (adaptado de ASR America, 2008)

2.2.1.2. Rotação da Crista das Ondas

Black e Mead (2001) iriam recuperar uma solução clássica cuja eficiência, associada à orientação das ondas na zona de rebentação em relação à deriva litoral, tinha sido já referida, segundo os autores, por Komar (1998) e pelo USACE (1975).

O mecanismo consiste em reorientar o ângulo que a crista das ondas forma com a linha de costa no momento de rebentação, atenuando, desta forma, o volume de areia removido e transportado localmente por incidência oblíqua. A figura 2.3 exemplifica este conceito que, de acordo com os autores, poderá ser importante quando aplicado em zonas de elevados níveis de maré onde, apesar da dissipação da energia de agitação ser mínima na presença de uma estrutura submersa, o realinhamento da crista das ondas em relação ao ângulo de incidência poderá constituir um factor importante no que toca à mitigação da erosão costeira. Este foi, de resto, um conceito utilizado na concepção do recife multifuncional de Boscombe Piers, no Reino Unido (ver subcapítulo 2.4.).

No entanto, parecem existir poucas ferramentas para tratar matematicamente, e de forma preliminar, este tipo de fenómeno aplicado a RAM. A julgar, por exemplo, pelos procedimentos adoptados num estudo de concepção conduzido por Maglio e Harris (2009) utilizando a rotação das ondas, o dimensionamento desenrolar-se-á um pouco *ad-hoc*, uma vez que os autores se socorrem de um ensaio em modelo físico, prevendo dessa forma a trajectória das ondas.

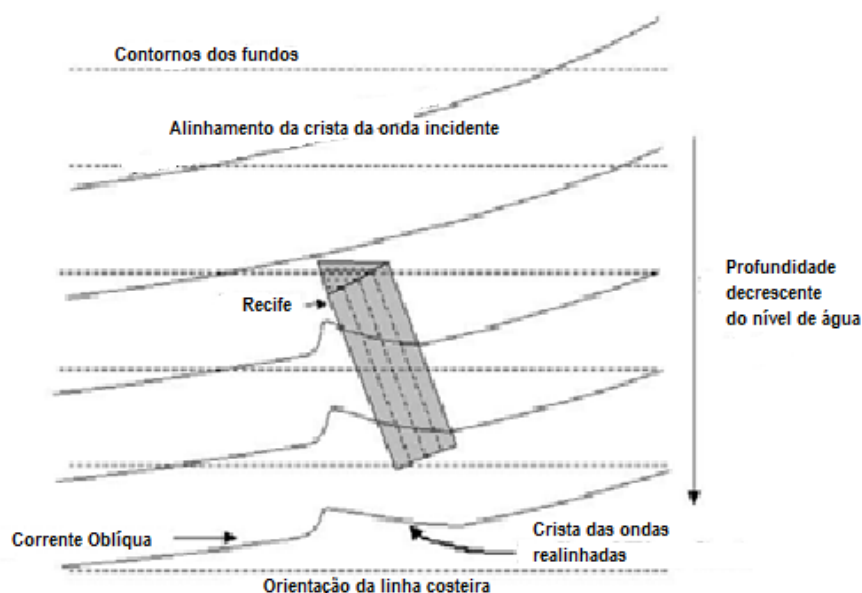


Figura 2.3 – Esquema idealizado de um recife reorientando a crista das ondas (adaptado de Black e Mead, 2001)

2.2.2. TRABALHOS DE RANASINGHE E DIFERENTES COLABORADORES

2.2.2.1. Análise de Eficiência de Estruturas Submersas

Num estudo conduzido com o intuito de avaliar a eficiência de estruturas submersas, Ranasinghe e Turner (2006) analisaram dez instalações deste tipo, procurando relacionar diferentes variáveis de modo a encontrar uma relação entre estes parâmetros e o tipo de resposta predominante da linha de costa. Os dados analisados encontram-se resumidos na tabela da figura 2.4 (reproduzida do original).

As obras analisadas não foram, na sua maioria, sujeitas a monitorização podendo-se, contudo, assinalar que o estudo não encontrou qualquer relação predominante entre uma ou mais variáveis e o desempenho da estrutura, aqui descrito sob o binómio erosão/acreção. Os autores analisaram ainda resultados de ensaios físicos e numéricos de estruturas do mesmo tipo, observando que ocorreria acreção a sotamar de estruturas submersas localizadas em zonas com deriva litoral de sedimentos significativa, ao passo que a erosão seria a resposta predominante em locais com incidência de ondas segundo a direcção normal à linha de costa. No entanto, os resultados de campo não suportam completamente estas observações citando-se, como exemplo, o caso de Lido di Dante (figura 2.5), em Itália, que, apresentando um volume anual de transporte de sedimentos negligenciável e uma incidência de ondas predominantemente normal, resultou em acreção. Os autores concluem, assim, que não existe nenhum parâmetro preponderante, de entre todos os que foram analisados, que determine o comportamento de estruturas submersas, sugerindo a hipótese de que talvez seja uma combinação de alguns destes parâmetros a controlar o desempenho das estruturas. Salientam, ainda, que trabalhos preliminares sugerem que os padrões de circulação de correntes próximas da costa podem variar e, inclusivamente, reverter-se caso uma estrutura de dadas dimensões seja afastada progressivamente para o largo. Destacam, igualmente, que as simulações numéricas levadas a cabo até ao momento indicam uma correspondência entre a ocorrência de erosão ou acreção consoante as correntes sejam, respectivamente, divergentes ou convergentes na zona junto à linha de costa. Por fim, interessa referir a crítica que os autores fazem ao trabalho de Black e Andrews (2001), suportada pelos resultados apresentados. Com efeito, o trabalho realizado pelos autores mencionados no ponto anterior, levam a concluir que qualquer estrutura submersa é mais eficiente do que uma estrutura

emersa que apresente igual comprimento e distância à linha de costa, o que de acordo com estes resultados, não é válido para todos os cenários.

Location	Reference	Structure type	Shoreline response	Nourishment	Longshore transport rate (m ³ /year)	B (m)	S (m)	W (m)	h (m)	h _c (m)	tanβ
Delaware Bay, USA	Douglass and Weggel (1987)	Single breakwater + 2 end groins	Erosion	Y	Negligible	300	75	Not reported	1	At MLW	Not reported
Keino-Matsubara Beach, Japan	Deguchi and Sawaragi (1986)	Single breakwater	Erosion	Y	Not reported	80	85	20	4	2 m below MLW	0.1 nearshore and 0.03 offshore
Niigata, Japan	Funakoshi et al. (1994)	Single breakwater + 2 groins	Erosion	N	Exists, but not quantified	540	400	20	8.5	1.5 m below MWL	0.02
Lido di Ostia, Italy (#1)	Tomassicchio (1996)	Single breakwater	Erosion	Y	50,000	3000	100	15	4	1.5 m below MSL	0.05
Lido di Ostia, Italy (#2)	Tomassicchio (1996)	Single breakwater	Accretion	N	50,000	700	50	15	3–4	0.5 m below MSL	0.1
Lido di Dante, Italy	Lamberti and Mancinelli (1996)	Single breakwater	Accretion	Y	Negligible	770	150	12	3	0.5 m below MSL	0.02
Marche, Italy	Lamberti and Mancinelli (1996)	Multiple segmented breakwaters	Erosion	N	Negligible	Not reported	100–200	10–12	3	0.5 m below MSL	Not reported
Palm Beach, FL, USA	Dean et al. (1997)	Single breakwater	Erosion	N	100,000	1260	70	4.6	3	0.7 m below MLLW	0.04
Vero Beach, FL, USA	Stauble et al. (2000)	Segmented breakwater	Erosion	N	30,000	915	85	4.6	2.1–2.7	0.25 m–0.35 m below MLLW	0.03
Gold Coast, Australia	Jackson et al. (2002)	Multi-function surf reef	Accretion	Y	500,000	350	100–600	2	2–10	1 m below MLW	0.02

Figura 2.4 – Análise de variáveis e tipo de resposta associado a estruturas submersas (Ranasinghe e Turner, 2006)

Nesse sentido, os resultados de Black e Andrews (2001), para além de anti-intuitivos, levam também a que se questione a metodologia adoptada na sua análise, nomeadamente quanto à definição do modo de diferenciação entre erosão e acreção, sendo que a primeira não é prevista pelas relações empíricas propostas (tabela 2.1 e expressões 2.1 a 2.3.) o que, de acordo com as conclusões aqui apresentadas é, nessa medida, incorrecto.

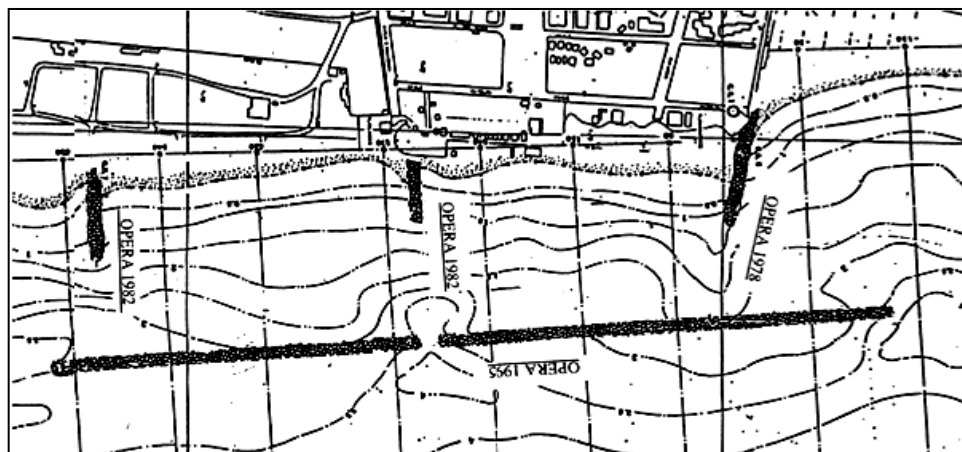


Figura 2.5 – Planta elucidativa das estruturas submersas construídas em Lido di Dante (Delos, 2003a)

2.2.2.2. Resposta da Linha de Costa a RAM

Ainda no mesmo ano, Ranasinghe *et al* (2006) incidiram a sua análise sobre recifes artificiais multifuncionais, ao submeter uma “estrutura tipo” a ensaios físicos e numéricos, em que se fez variar o grau de submersão da estrutura (-0,5 m e -1,0 m), o ângulo de incidência das ondas (normal à costa e com desvio de 7°, sendo $H_s=1,5$ m e $T_p=10$ s), bem como a distância do vértice do recife ao largo em relação à linha da costa. O recife apresentava uma inclinação lateral do talude de 1:12 ao longo da sua configuração em V, com dimensões de 50 por 100 m, perpendicular e paralelamente à costa, respectivamente. Verificou-se que a distância do vértice mais afastado da estrutura em relação à linha de costa alterava o modo de resposta em função das correntes, observando-se que, para distâncias curtas (no caso 100 m), se geravam duas células de circulação divergentes junto à linha de costa, resultando em erosão, ao passo que, à medida que essa mesma distância aumentava (250 m), surgia um par de células secundárias circulando no sentido oposto às primeiras, o que faria com que convergissem junto à costa originando acreção, tal como ilustrado nas figuras 2.6 (a) e 2.6 (b).

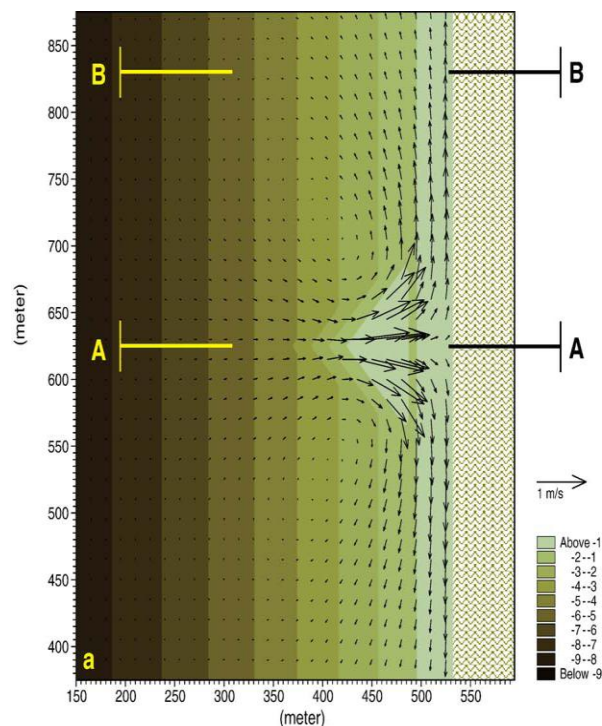


Figura 2.6 (a) – Células divergentes em resultado da excessiva proximidade do recife à costa (Ranasinghe *et al*, 2006)

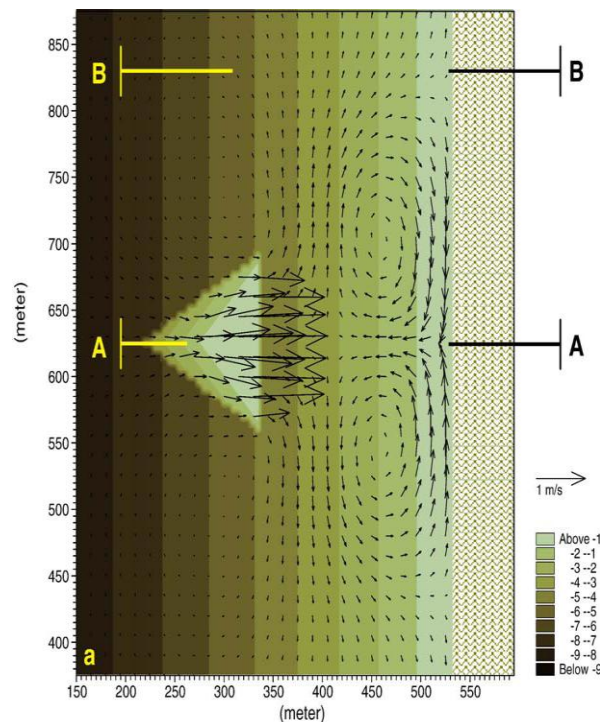


Figura 2.6 (b) – Células convergentes junto à costa em resultado do afastamento do recife (Ranasinghe *et al*, 2006)

Este padrão de circulação é explicado com base nos gradientes de pressão devidos aos diferentes níveis de elevação da superfície, segundo A-A e B-B (ver figuras). Assim, no primeiro caso, à medida que a altura de onda decresce na “zona de surf” (zona de rebentação), provocando uma elevação da superfície ao longo de A-A, o gradiente de pressão tende a divergir as correntes para a secção B. Uma vez que o afastamento da estrutura é reduzido e a zona de surf é pouco profunda, a capacidade de se gerarem correntes sobre a estrutura em direcção à costa é restringida, o que já não acontece no segundo caso. Nesta situação, havendo espaço, as ondas voltam a empolar ligeiramente, mas já com uma altura inferior à da superfície ao longo da secção B-B, resultando num gradiente de pressão que faz convergir as células secundárias em direcção à costa.

Os resultados em modelo físico foram coerentes com as simulações numéricas. Registou-se igualmente que a variação do grau de submergência da estrutura, bem como os ângulos de incidência das ondas sobre a mesma (com a corrente longitudinal associada à incidência oblíqua) não afectam o modo de resposta morfodinâmica, mas somente o grau em que esta se verifica. Estabeleceu-se ainda uma relação empírica segundo a qual se verifica acreção para valores de S_a/SZW superiores a 1,5, e erosão quando esta relação é inferior a 1, sendo que S_a representa a distância entre o vértice mais ao largo do recife e a linha de costa, e SZW a largura da zona de surf. Os resultados empíricos obtidos encontram-se ilustrados nos gráficos *a* e *b* da figura 2.7. A variável SZW não foi claramente definida pelos autores, no entanto, Black (2009), citado em ASR America (2008), propõe a relação $SZW = H_b/(Y_b i)$, em que $Y_b (= H_b/d_b)$ representa o parâmetro de rebentação (tipicamente igual a 0,78), e i o valor de inclinação média dos fundos da praia.

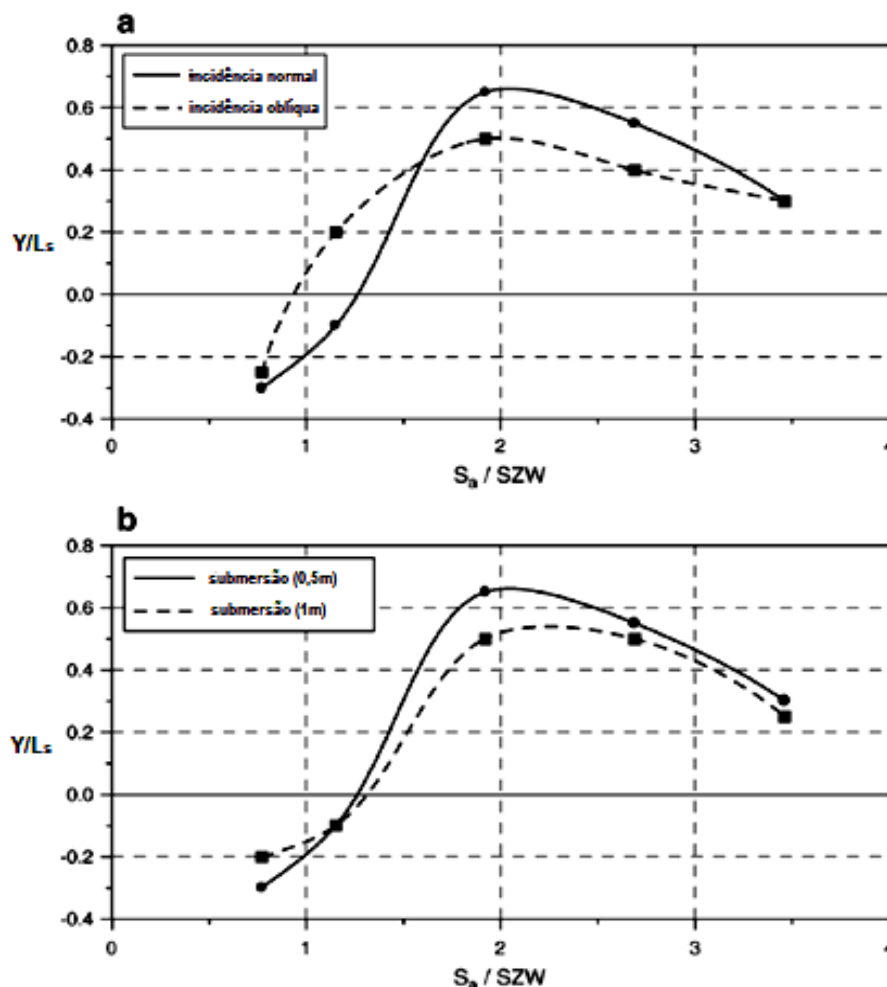


Figura 2.7 – Resposta da linha de costa a um RAM (adaptado de Ranasinghe *et al*, 2006)

2.2.3. CONTRIBUIÇÕES DIVERSAS RELATIVAS A ESTRUTURAS SUBMERSAS E PARCIALMENTE SUBMERSAS

Numa tentativa de compilar os principais modelos existentes relacionando a resposta morfodinâmica costeira, a sotamar de estruturas submersas, com os seus parâmetros fundamentais de concepção (num âmbito que servisse o propósito deste trabalho), serão apresentados os resultados mais relevantes provenientes de diferentes autores.

2.2.3.1. Selecção de *Handbook of Coastal Engineering*

O capítulo 5 do *Handbook of Coastal Engineering* (Herbich, 2000) apresenta uma revisão da literatura contemplando a concepção de quebramares destacados, incidindo particularmente em quebramares destacados emersos. Relativamente a estruturas submersas são ressaltados os seguintes pontos-chave:

- Aumento da eficiência na atenuação da oscilação da onda, associada ao aumento da sua declividade (Johnson *et al*, 1951);
- Intensificação do fenómeno de empolamento com o aumento do nível de submergência (sobretudo a partir dos 70%) e comprimento da estrutura (Lyzlov, 1963);

- Fixação de um limite aproximado de 60% de submergência relativa do quebramar ($H_s/h_c=0,6$ ou altura da estrutura de 60% do valor da profundidade local) de modo a garantir uma eficiência efectiva na atenuação da energia das ondas (Dattatri, 1978);
- A utilização de blocos à semelhança dos usados em Akhun, Japão (*Akhun units*), descrita por Kabelac (1963), de secção trapezoidal compreendendo um talude inclinado a barlar e um talude vertical a sotamar, mostrou-se eficaz no desempenho geral. Verificou-se que o talude inclinado permite que os sedimentos galguem com facilidade a estrutura, ao passo que o talude vertical beneficia a sua retenção. Adicionalmente, foi demonstrado que uma frente inclinada apresenta uma eficiência similar a um talude vertical face à atenuação das ondas, com a vantagem de reduzir a erosão no pé da estrutura, ao mitigar o fenómeno de reflexão;
- Talent (1986) provou que a capacidade de retenção de sedimentos aumentaria até ser atingida uma distância relativa à praia, razão X/L_s de 0,8, muito embora a formação de tómbolo não ocorresse em quebra-mares submersos;
- Finalmente, Tanaka (1976) descreve a relação entre a altura livre da crista do quebramar ao nível de água (*breakwater freeboard*), R_c , e a altura da onda incidente ao largo, H_0 , bem como daquela com a largura da crista. Os resultados, no entanto, demonstram que a atenuação de ondas surge efeito somente para razões de R_c/H_0 compreendidas entre -1,0 e 1,0.

Interessa ainda referir que o galgamento de um quebramar submerso origina uma área de dispersão de alturas de onda a sotamar da estrutura, o que leva a que parte da sua energia seja transposta para frequências superiores produzindo ondas secundárias. Recomenda-se, nestes casos, o recurso a análise espectral para avaliação deste tipo de fenómenos, descrita através da Transformada de Fourier.

O manual faz ainda uma breve referência a quebra-mares em recife, salientando a sua deformabilidade estrutural e consequente capacidade de adaptação a situações de equilíbrio, uma vez que não possuem núcleo rígido.

2.2.3.2. Trabalhos de Pilarczyk

Pilarczyk (2003a e b) reformula algumas das relações já existentes de resposta a quebra-mares emersos (Harris e Herbich, 1986; Dally e Pope, 1986; etc.) inserindo-lhes o factor $(1 - K_t)$, de modo a entrar em linha de conta com o efeito de submergência. Assim, as relações propostas, como primeira aproximação, são as seguintes:

- Formação de tómbolo: $L_s/X > (1,0 \text{ a } 1,5)/(1 - K_t)$
- Saliência: $L_s/X < 1/(1 - K_t)$
- Para saliências onde existam múltiplos quebra-mares: $GX/L_s^2 > 0,5(1 - K_t)$

G , representa a distância entre quebra-mares consecutivos situando-se, usualmente, entre L_w e $0,8 \times L_s$, onde L_w representa o comprimento de onda local, sobre a estrutura ($L_w = T(g h_c)^{0,5}$), T o período de onda e h_c a profundidade do quebramar.

O autor salienta o facto de estas fórmulas servirem como auxílio ao pré-dimensionamento aconselhando, no entanto, precaução no que toca à sua generalização a quebramares submersos, dada a limitada gama de verificação de dados que permita essa validação.

Pilarczyk (2003a) faz ainda referência a algumas obras submersas existentes no Japão, dada a grande popularidade do recurso a recifes artificiais nesse país (ver caso de Niigata e Keino-Matsubarah, já apresentados no quadro da figura 2.4). Na figura 2.8 apresentam-se quatro modelos típicos de circulação hidrodinâmica induzidos pela presença de recifes artificiais, referidos no *Japanese Construction Manual* (1988), estudados por Yoshioka *et al* (1993).

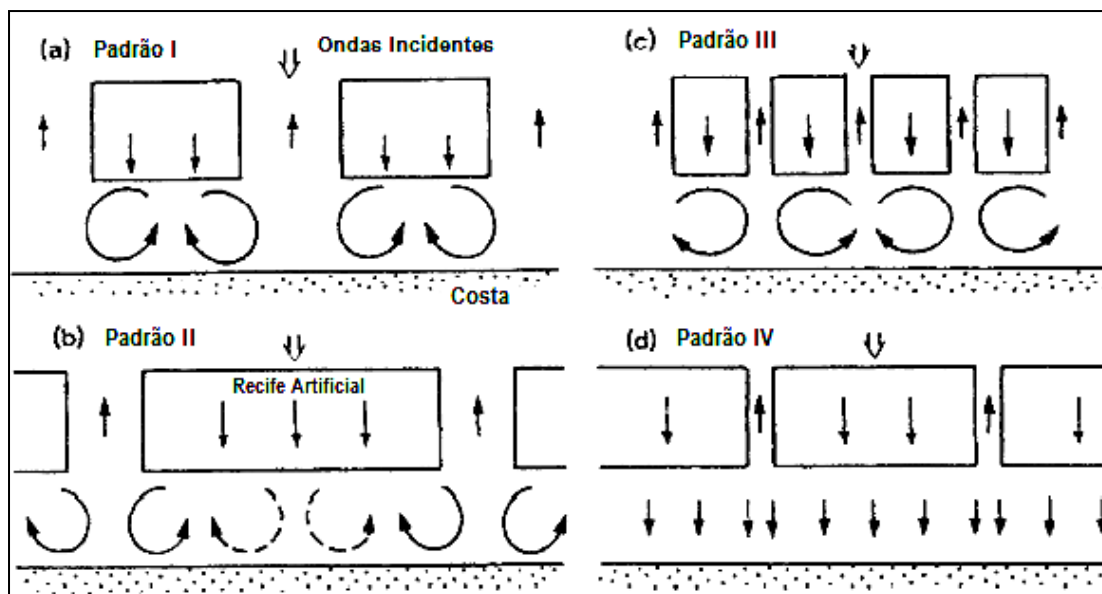


Figura 2.8 – Padrões habituais de circulação hidrodinâmica a sotamar de recifes (adaptado de Pilarczyk, 2003a; fonte: Japanese Manual, 1988)

2.2.3.3. PEP REEFS™ E BEACHSAVER REEFS™

Stauble e Tabar (2003) apresentam uma análise detalhada dos programas de monitorização referentes ao desempenho de seis instalações de dois tipos de unidades de betão pré-fabricadas (três de cada tipo), instaladas nos EUA. Estas estruturas de coroamento estreito e secção transversal triangular (ver figuras 2.9 (a) e (b)) apresentam-se como sendo uma alternativa aos quebramares submersos tradicionais, tendo como objectivos a redução da altura de onda incidente, estabilização da posição da linha de costa, limitação das alterações de volume na vizinhança da estrutura e atenuação da energia das ondas a sotamar em condições de tempestade.

As unidades *PEP* foram instaladas em mar aberto ao longo da costa central mais baixa da Florida, paralelamente à linha de costa e afastadas de qualquer obra de protecção perpendicular, existindo, nos três locais, obras de defesa aderentes das mais variadas configurações. As unidades *Beachsaver* foram instaladas ao longo da costa atlântica de New Jersey, junto a alguns esporões, tal como ilustrado na figura 2.10.

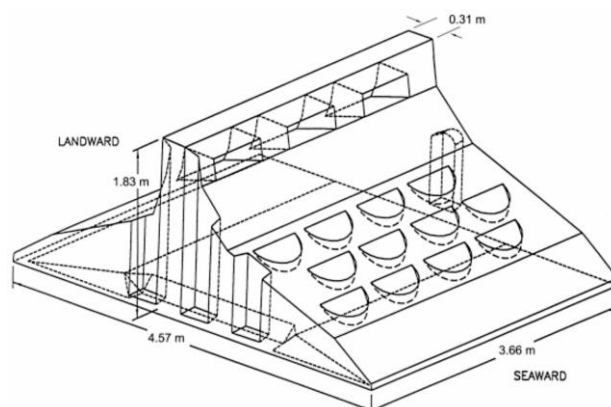


Figura 2.9 (a) – Unidade *PEP Reef* (Stauble e Tabar, 2003)

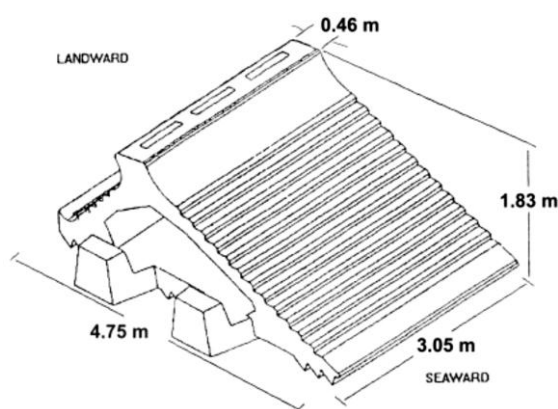


Figura 2.9 (b) – Unidade *Beachsaver Reef* (Stauble e Tabar, 2003)

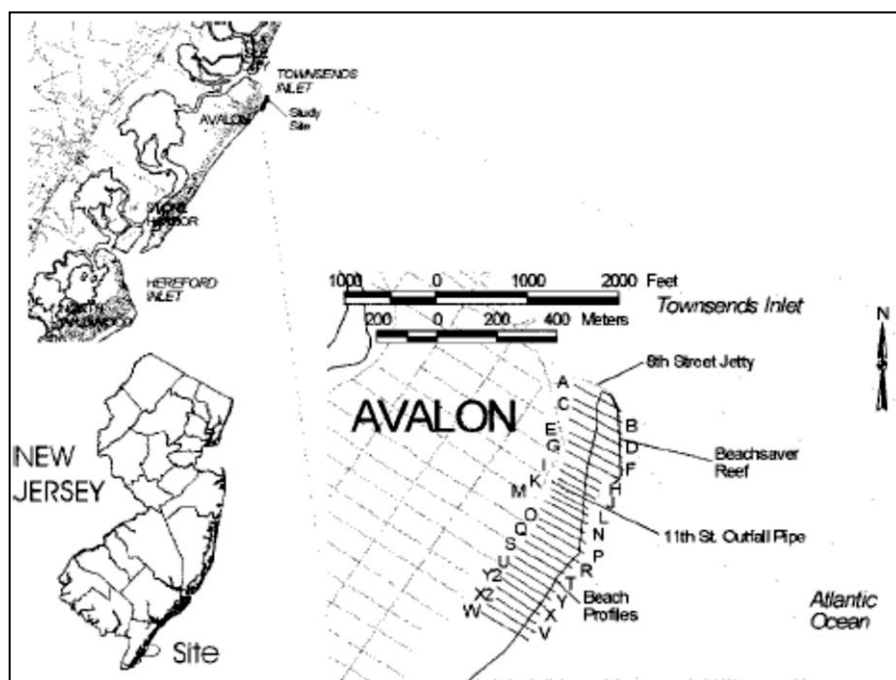


Figura 2.10 – Localização da instalação de um recife *Beachsaver* em Avalon, New Jersey (Stauble e Tabar, 2003)

O estudo revelou que os projectos mais bem sucedidos foram aqueles em que as unidades serviram a criação de praias assentes em zonas fechadas, junto à cabeça dos esporões e, muito embora não dissipando de forma significativa a energia das ondas, foram capazes de impedir o retorno dos sedimentos para o largo, desde que devidamente ligadas aos esporões por rochas.

2.2.3.4. PROJECTO DELOS

O projecto DELOS, subsidiado por fundos da União Europeia, teve como objectivo fundamental a promoção e desenvolvimento de soluções ambientalmente benéficas no âmbito da concepção de obras de protecção costeira de baixa cota de coroamento.

O inventário preliminar, levado a cabo no sentido de estabelecer o estado de arte e subsequente selecção dos casos relevantes para estudo, não permitiu tirar grandes conclusões no âmbito deste trabalho, uma vez que os casos de maior interesse se encontram documentados de forma incompleta, por falta de dados de monitorização. A análise detalhada do inventário e respectivos questionários, compreendendo 185 casos de estudo, num total de 1483 estruturas existentes por seis países europeus, EUA e Japão, revela um predomínio de eficiência das obras com cota de coroamento igual ou superior aos níveis de maré máxima locais. Estas conclusões são, de resto, suportadas pela análise dos casos descritos na tabela referente à fase de averiguação preliminar de alguns casos de estudo (ver anexo A1), contemplando estruturas predominantemente submersas, apesar de não ter sido possível a obtenção de todos os campos de resposta, por ausência de dados de monitorização. Podem destacar-se, no entanto, dois casos de estruturas submersas constantes no registo (para além dos dois casos italianos já apresentados na figura 2.4., referentes a Lido di Dante e Lido di Ostia 2) nos quais, apesar de não se encontrarem quantificados nem estabelecidos com rigor os mecanismos de reposta morfodinâmica da linha de costa, se verificou a formação de tômbolos. Os dois casos reportam-se a Itália: Agrigento, na zona sudoeste da ilha da Sicília, e Senigallia, província de Ancona, na costa Adriática italiana. Em ambos os locais as amplitudes de maré são negligenciáveis (0,2 m em Agrigento e 0,0 m em Senigallia) sendo que, no primeiro caso, o coroamento da série de estruturas implantadas se encontra a -1,0 m (ZH), com uma largura de 15 m. Em Senigallia, as estruturas submersas localizam-se nos extremos Norte e Sul de uma zona protegida que se estende ao longo de 5 km (intercaladas por quebramares emersos), com cota de coroamento a -0,5 m (ZH), e possuindo uma largura aproximada de 10 m. Os quebramares possuem, em média, 80 m de comprimento, distanciados entre si de 20 m (nos 4 quebramares a Norte) e 25 m (na série de quebramares a Sul), estando afastados de 150 m da costa. As obras de Agrigento encontram-se ilustradas na figura 2.11 onde, para além das dimensões das estruturas, se pode observar a representação esquemática dos tômbolos formados.

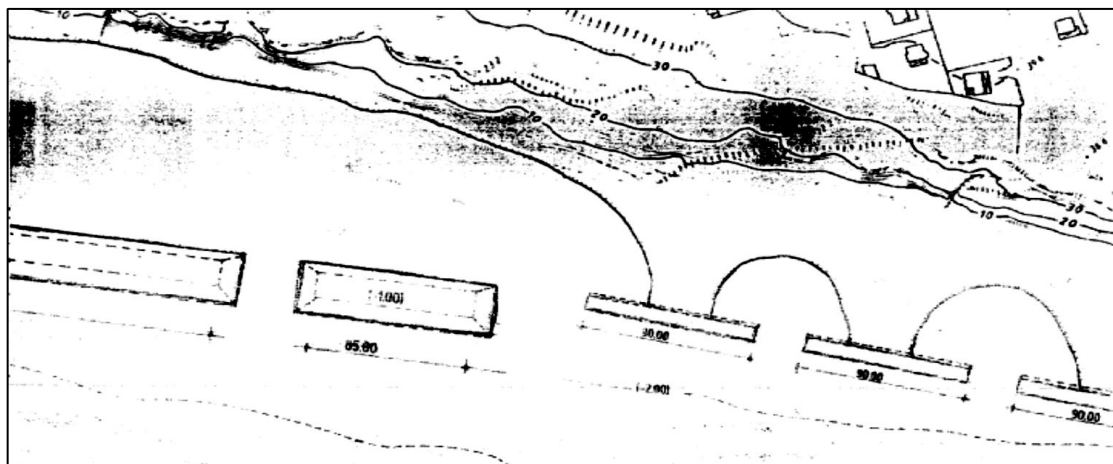


Figura 2.11 – Formação de tómbolos em resultado da existência de estruturas submersas em Agrirento, Sicília (Delos, 2003a)

Seguidamente destacam-se alguns dos resultados obtidos do projecto Delos, de maior interesse no âmbito do presente trabalho, e aos quais se teve acesso livre através do site www.delos.unibo.it (acedido em Março de 2010).

Partindo do caso de Altafulla, Sánchez-Arcilla *et al* (2004) salientam a importância do binómio H_s e θ_i na obtenção de uma relação óptima de L_s/X que beneficie a deposição de sedimentos. No caso de incidência normal e razão H_s/R_c elevada, a grande quantidade de sedimentos que passam sobre a estrutura é descompensada por uma perda nas correntes de retorno junto ao rebordo do quebramar, conduzindo a erosão a sotamar da estrutura e deposição a barlar. No caso de incidência oblíqua este padrão desaparece, devido à intensificação da corrente litoral. A correcta simulação dos parâmetros envolvidos na dinâmica de um quebramar submerso (difracção e transmissão sobre a estrutura), bem como o fluxo de massa de ondas, foram ainda identificados pelos autores como fenómenos importantes. O gráfico da figura 2.12 apresenta os resultados empíricos obtidos para a velocidade de pico em função da largura relativa de coroamento de uma estrutura, X_{str} , e em que X_{surf} tem uma definição análoga a SZW.

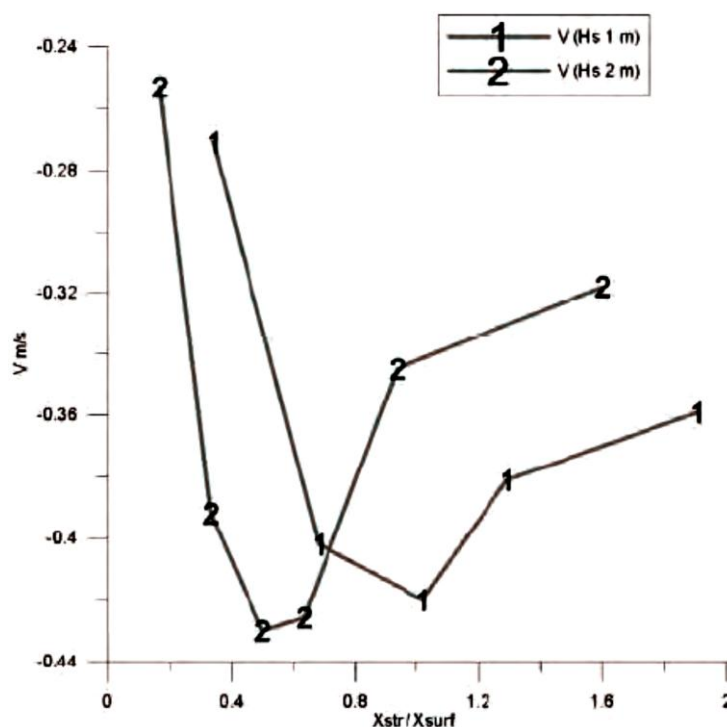


Figura 2.12 – Velocidade característica segundo um transepto da estrutura até à costa, em função da largura de coroamento relativamente à largura da zona de surf, para duas alturas de onda significativa, incidência normal e afastamento de 150 m (Sánchez-Arcilla *et al*, 2004)

Verifica-se, então, que os resultados empíricos obtidos neste estudo apresentam grandes semelhanças com as conclusões expostas por Ranasinghe *et al* (2006), o que constitui um factor de validação destes últimos.

Ensaio físico 3D realizados ainda no âmbito do projecto Delos, segundo os resultados apresentados no relatório final de Kramer e Bucharth (Delos, 2003b), revelaram alguns aspectos de interesse, de onde se destaca que:

- Estruturas submersas apresentam uma estabilidade significativamente superior a estruturas emersas, com baixa cota de coroamento;
- A largura do coroamento, declividade da onda e obliquidade de incidência revelam uma menor influência na estabilidade da estrutura, sendo que esta aumenta ligeiramente para maior largura e maior obliquidade da onda. Para ondas de maior declividade ($s_{op}=0,035$) a estrutura apresenta uma maior estabilidade na parte superior, sendo que ondas mais longas ($s_{op}=0,02$) causam um dano ligeiramente maior na parte inferior da estrutura.

Estas conclusões são válidas somente nas condições dos ensaios realizados (R_c/H_s variando entre -0,8 e 1,0).

Noutro estudo físico semelhante, tendo por finalidade a investigação da relação entre o ângulo de incidência das ondas sobre LCS's (testadas em condições de emersão e submergência) e as características de transmissão, as seguintes conclusões foram retiradas (*Wave Basin Transmission Tests – Internal Report*, Delos, 2003b):

- A transmissão de ondas sobre estruturas rugosas (permeáveis) é influenciada somente de forma ligeira pelo ângulo de incidência; já em estruturas lisas (impermeáveis), o ângulo de incidência da onda parece afectar muito significativamente a transmissão;
- Em estruturas lisas a largura de coroamento revela pouca influência, tal como previsto por Van der Meer (Infram, 2000);
- A fórmula proposta por Daemen (1991) ajusta-se bem à transmissão face a incidência oblíqua em estruturas rugosas, uma vez que sobre estas estruturas a influência da obliquidade de incidência é mínima; a fórmula comporta-se bem em estruturas rugosas de coroamento estreito;
- As fórmulas para K_t propostas por De Jong (1996) foram alteradas de modo a adaptarem-se à transmissão sobre estruturas lisas, ainda em regime de incidência perpendicular, apresentadas nas expressões 2.4. e 2.5.

$$K_t = -0,30 \frac{R_c}{H_i} + 0,75(1 - e^{-0,5\xi}) , 1,0 < \xi < 3 \text{ e } 1,0 \leq \frac{B}{H_i} \leq 8,6 \quad (2.4)$$

$$K_t = -0,30 \frac{R_c}{H_i} + 0,75 \left[\frac{B}{H_i} \right]^{-0,31} (1 - e^{-0,5\xi}) , 3,0 \leq \xi \leq 8,2 \text{ e } 1,0 \leq \frac{B}{H_i} \leq 8,3 \quad (2.5)$$

Em 2.5 K_t é dado em função de B , uma vez que para rebentação oscilante assume-se que a onda rebenta no topo do coroamento, por oposição ao caso em que $\xi < 3$, onde a rebentação se concentra essencialmente sobre o talude. As condições fronteira estão em correspondência com as condições do modelo testado;

- A partir das fórmulas anteriores, e tendo em conta os resultados obtidos nas simulações, foi derivada uma fórmula para K_t em condições de incidência oblíqua, para estruturas lisas, apresentada em 2.6.

$$K_t = \left(-0,30 \frac{R_c}{H_i} + 0,75(1 - e^{-0,5\xi}) \right) (\cos \beta)^{2/3} , \xi < 3 \quad (2.6)$$

A expressão revelou um ajuste à função \cos com uma correspondência de $R^2=0,84$, face aos resultados obtidos.

- A direcção da onda transmitida foi também estudada, resultando nas expressões 2.7 a 2.9, obtidas para as condições de ensaio (fixadas a largura do coroamento e inclinação de talude).

Em estruturas rugosas:

$$\beta_t = 0,8\beta_i \quad (2.7)$$

Em estruturas lisas:

$$\beta_t = 0,9\beta_i \quad , \text{ se } \beta_i < 50^\circ \quad (2.8)$$

$$\beta_t = 45^\circ \quad , \quad \text{se } \beta_i > 50^\circ \quad (2.9)$$

Ressalva-se que as expressões devem ser somente aplicadas para $R_c/H_i < -1,0$ uma vez que, para valores superiores, a transmissão é inalterada pela presença da estrutura.

2.2.4. CRÍTICA E CONCLUSÕES

Com o surgimento dos recifes multifuncionais passaram a adquirir particular relevância dois aspectos essenciais, a saber: (1) a rotação do ângulo de incidência das ondas e (2) a dinâmica das correntes gerada pela estrutura, nomeadamente em recifes com a tradicional configuração em delta.

Em quebramares submersos o modo de resposta é essencialmente governado pela atenuação da energia das ondas e capacidade de retenção de sedimentos, obtida à custa do efeito conjugado da difracção e de uma dinâmica de correntes geradas em torno da estrutura, variável de caso para caso. Relativamente aos parâmetros que parecem determinar de forma mais intensa a resposta morfodinâmica à presença de quebramares submersos, podem destacar-se:

- Distância relativa à costa, L_s/X ;
- Relação entre largura/afastamento da estrutura e a largura da zona de surf, SZW ;
- Profundidade relativa da cota de coroamento da estrutura, R_c/H_i ;
- Ângulo e altura de incidência das ondas sobre a estrutura;
- Tipo de material constituinte: liso/rugoso.

Nunca é demais salientar que estas conclusões foram baseadas em estudos maioritariamente conduzidos em zonas de reduzida amplitude de maré (variando, em média, de 0,5 a 2 – 2,5 m), de modo que a extrapolação para a costa Oeste portuguesa não é directa. O aumento da amplitude de maré irá agravar significativamente os piores cenários expostos neste capítulo, muito embora se deva ressaltar que um RAM, na sua vertente de protecção costeira, não se prefigura como sendo uma obra clássica de defesa, concebida para fazer face a condições pontuais de agitação de grande severidade, mas sim uma estrutura que actua a uma escala de tempo alargada, repondo e mantendo a linha de costa em níveis aceitáveis, e substituindo ou funcionando em simultâneo com o recurso a alimentação artificial de areias.

2.3. LINHAS DE CONCEPÇÃO CONTEMPLANDO A PRÁTICA DE SURF

2.3.1. ENQUADRAMENTO

Os princípios gerais apresentados neste subcapítulo constituem as bases fundamentais de concepção (possíveis de apurar) relativas a recifes artificiais, na sua vertente direccionada à melhoria das condições para a prática de surf. Como se verá mais adiante (subcapítulo 2.4.), esta concepção encontra-se intimamente relacionada com as condicionantes impostas pelo local de implantação, para além de uma parte importante do projecto final estar dependente de uma série de ensaios numéricos e físicos. Nesse sentido, somente os conceitos essenciais serão aqui introduzidos, na tentativa de

compilar os trabalhos de maior importância na área deixando-se, dessa forma, as especificidades de concepção relativas ao projecto em estudo para o dimensionamento preliminar (ponto 4.3.).

2.3.2. PARÂMETROS DOMINANTES E EXIGÊNCIAS OPERACIONAIS

2.3.2.1. Ângulo de Rebentação, α

Quando a crista de uma onda rebenta ao longo de uma extensão considerável de forma simultânea (*closing-out*), esta tornar-se-á não surfável, sendo que, para que tal não ocorra, deverá existir uma obliquidade dos fundos face à direcção normal de incidência dos raios de onda no momento de rebentação. Assim, um dos parâmetros de maior importância no que toca às características de rebentação de ondas para o surf, prende-se com o ângulo compreendido entre o vector velocidade de rebentação, \vec{V}_p (*peel ratio*), idealmente paralelo à crista da onda, e a velocidade efectivamente experimentada pelo surfista ao longo da linha de rebentação, \vec{V}_s (*downline velocity*). A este ângulo atribui-se o nome de ângulo de rebentação (*peel angle*), α , tal como esquematizado na figura 2.13. A relação entre α e a velocidade do surfista é dada pela relação 2.10.

$$|\vec{V}_s| = \frac{|\vec{c}|}{\sin \alpha} \quad (2.10)$$

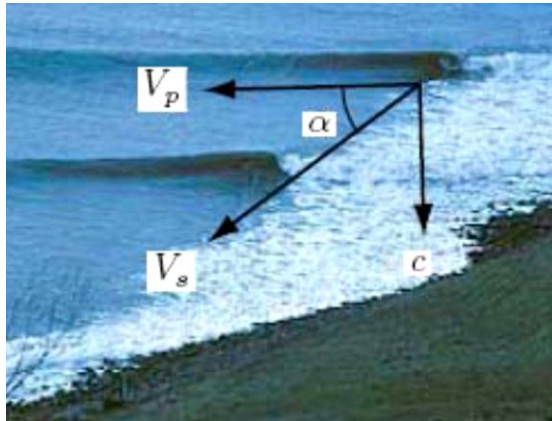


Figura 2.13 – Ângulo de rebentação, α , V_p e V_s (adaptado de Van Ettinger, 2005; fonte: surfermag.com, Sean Davey)

É fácil concluir que, quanto mais pequeno for α , maior será a velocidade experimentada pelo surfista, e conseqüente exigência técnica requerida, a qual dependerá, essencialmente, do ângulo de rebentação e da altura de onda.

Com efeito, Hutt *et al* (2001), citado em Henriquez (2004), investigaram a relação entre o ângulo de rebentação, α , e a altura de onda, H , para diferentes níveis de aptidão técnica de surfistas (classificados de 1 a 8, consoante o nível crescente de aptidões). As suas conclusões encontram-se sumarizadas na tabela 2.2 e no gráfico da figura 2.14.

Tabela 2.2 – Altura e ângulo de rebentação “surfáveis” em função das aptidões técnicas dos praticantes segundo a classificação de Hutt *et al*, 2001 (adaptado de Henriquez, 2004)

Classificação	Descrição de Aptidões	α [°]	H [m]
1	Surfistas iniciados, ainda inaptos a surfar a face da onda, movendo-se simplesmente com o avanço da rebentação.	0	0,70 – 1,00
2	Surfistas aprendizes, capazes de surfar lateralmente ao longo da crista da onda.	70	0,65 – 1,50
3	Surfistas que já desenvolveram a aptidão de gerar velocidade através de impulsão na face da onda.	60	0,60 – 2,50
4	Surfistas capazes de iniciar e executar manobras <i>standard</i> pontualmente	55	0,55 – 4,0
5	Surfistas capazes de executar manobras <i>standard</i> consecutivamente numa única onda	50	$\geq 0,50$
6	Surfistas capazes de executar manobras <i>standard</i> consecutivamente. Executam manobras avançadas pontualmente.	40	$\geq 0,45$
7	Surfistas amadores de topo, capazes de executar manobras avançadas consecutivamente.	29	$\geq 0,40$
8	Surfistas profissionais, capazes de executar manobras avançadas consecutivamente.	27	$\geq 0,35$

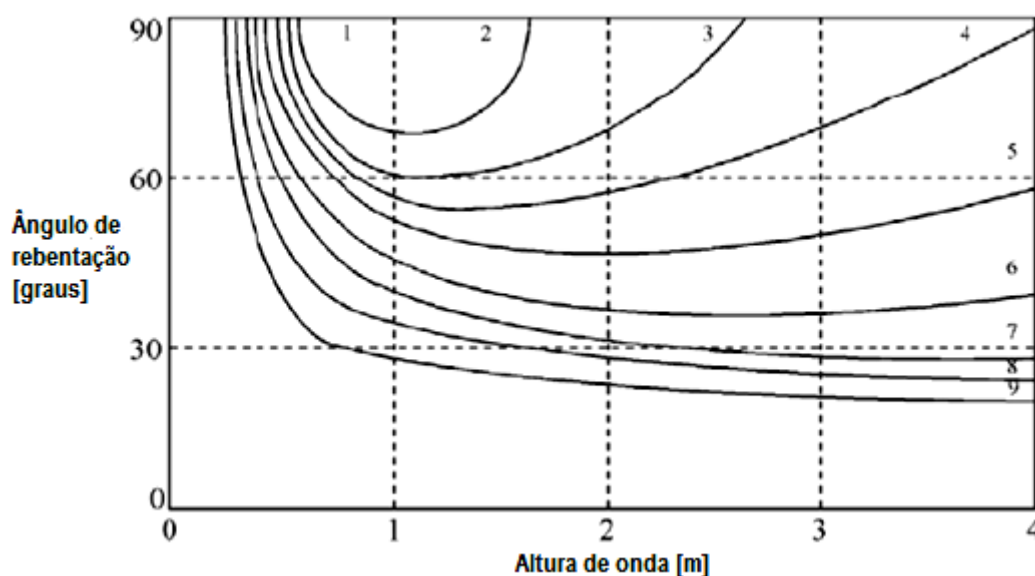


Figura 2.14 – Ábaco apresentando a relação análoga à da tabela 2.2, de acordo com Hutt *et al*, 2001 (adaptado de Henriquez, 2004)

Assim se verifica que, para uma dada altura de onda, maior deverá ser o ângulo de rebentação para a obtenção de uma onda adequada ao maior número de surfistas. A velocidade que um surfista é capaz de atingir estará, então, essencialmente dependente da altura de onda e da aptidão técnica do

praticante. Nesse sentido, interessa ainda referir o estudo de Walker (1974), citado por West (2002), em que as grandezas mencionadas até este ponto surgem relacionadas com a velocidade experimentada pelo surfista, V_s , dada em metros por segundo no ábaco da figura 2.15.

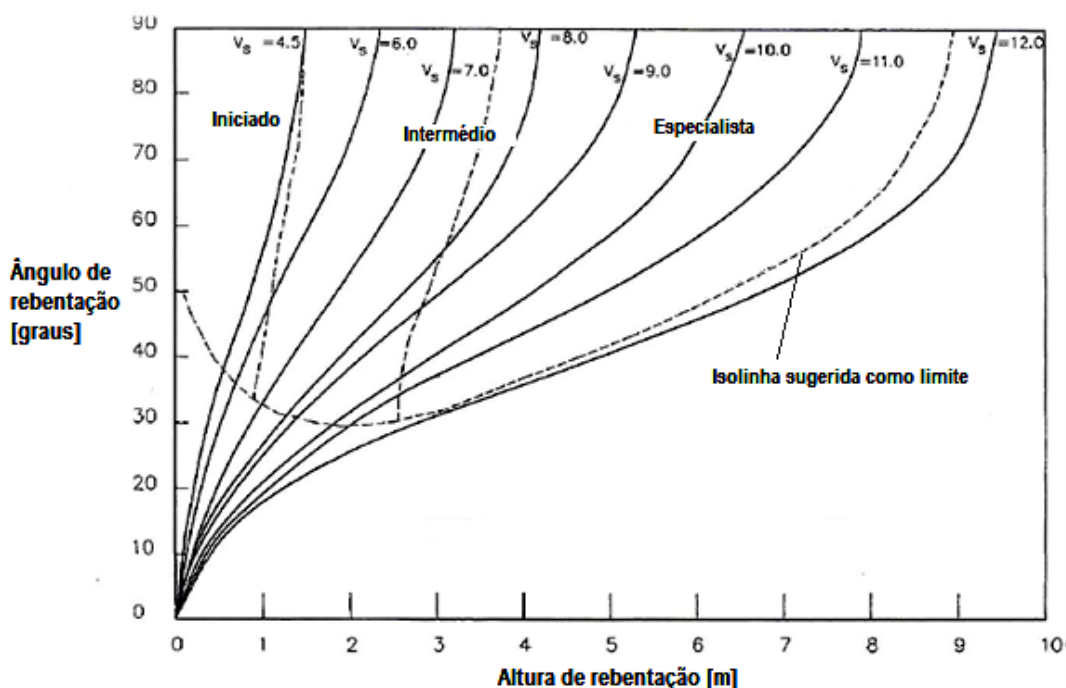


Figura 2.15 – Isolinhas de V_s relacionando a altura de onda com o ângulo de rebentação e aptidão técnica do surfista (adaptado de West, 2002, após Walker, 1974)

2.3.2.2. Altura de Onda, H

Actualmente, com o desenvolvimento das técnicas associadas à modalidade, o espectro de ondas surfáveis é bastante alargado. Em casos extremos, um *longboarder*, por exemplo, é capaz de surfar ondas de 0,15 metros (Henriquez, 2004) ao passo que há registos que indicam terem já sido surfadas ondas de 25 m por profissionais, sendo que a gama de alturas de onda registadas com maior frequência se considera compreendida no intervalo de 1 a 5 m (Van Ettinger, 2005). Contudo, para efeitos de estudo de viabilidade de construção de um RAM, Ten Voorde (2010) refere o intervalo de 1 a 3 metros como sendo o mais adequado.

Até rebentar sobre o recife a onda irá adquirir, necessariamente, uma altura superior comparativamente com a altura ao largo, devido ao fenómeno de empolamento. Em termos estruturais, e em primeira análise, este fenómeno estará directamente dependente da inclinação do talude do recife, já que a profundidade relativa de rebentação poderá ocorrer em diferentes pontos do mesmo. Quando muito, este aspecto poderá influenciar a qualidade da onda, ao nível da forma e intensidade com que rebenta.

Convém salientar que uma onda com uma altura superior refractará menos antes de rebentar, o que conduzirá a ângulos de rebentação superiores e, consequentemente, uma velocidade V_s mais baixa, para a mesma celeridade (facto bem patente, aliás, no ábaco da figura 2.15).

2.3.2.3. Tipo de Rebentação, ξ

A forma com que a onda rebenta é de grande importância para a obtenção de uma onda surfável. Battjes (1974) utilizou o parâmetro de semelhança de surf (número de Iribarren, ξ) para descrever o tipo de rebentação aplicado a um único valor de inclinação, i .

Este parâmetro pode adaptar-se às condições da zona de rebentação substituindo H_0 por H_b , tomando a forma da expressão 2.11.

$$\xi_b = \frac{i}{\sqrt{H_b/L_0}} \quad (2.11)$$

Os regimes de rebentação mais frequentes podem classificar-se, de um modo geral, em função de ξ_b , tal como apresentado na tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Classificação do tipo de rebentação *inshore*

ξ_b	Tipo de Rebentação
$\xi_b < 0,4$	Progressiva
$0,4 < \xi_b < 2,0$	Mergulhante
$\xi_b > 2,0$	Colapsante

O tipo de rebentação mergulhante é, de todos os regimes surfáveis, o que mais vai ao encontro da preferência dos surfistas (*shortboard* e *bodyboard*), uma vez que gera um tipo de onda que proporciona um grande leque de manobras, para além de ser uma onda rápida e “com força” (ver inquéritos), sendo apelidada de “tubo” na gíria da modalidade. O tipo de onda gerado pela rebentação progressiva é também surfável, apelidando-se de onda “mole” ou “fraca”, uma vez que não é tão poderosa. No diagrama da figura 2.16 reproduz-se o tipo de rebentação preferencial para cada tipo de surf.

O número de Iribarren para a zona de rebentação, tal como apresentado na expressão 2.11 é, em todos os autores encontrados, a forma escolhida para a descrição do tipo de rebentação. No entanto, o facto de se considerar L_0 e não o comprimento de onda local, por hipótese, poderá introduzir algum erro na sua validade de aplicação, uma vez que a onda vai sofrendo transformações até encontrar a estrutura. Seguir-se-á, em todo o caso, a notação estabelecida, pois os dados e critérios disponíveis para o trabalho encontram-se apresentados em função da relação apresentada.

	Tipo de Rebentação Preferencial		
Tipo de surf	Progressiva	Mergulhante	Colapsante
Bodysurfing		████████████████████	
Body board	████████████████████	████████████████████	
Short board		████████████████████	
Mini malibu		████████████████████	
Malibu	████████████████████	████████████████████	
Surf skis	████████████████████	████████████████████	
Paddle board	████████████████████	████████████████████	
Surf kayaks	████████████████████	████████████████████	
Sailboards	████████████████████		
Jetskis	████████████████████		

Figura 2.16 – Tipo de rebentação preferencial em função do tipo de surf praticado (fonte: www.coastalmanagement.com.au)

2.3.2.4. Intensidade de Rebentação (*Breaking Intensity*), B_i

A classificação apresentada no ponto anterior, apesar de ser um indicador importante quanto às características gerais da onda (nomeadamente a forma com que rebenta) revela-se, no entanto, um instrumento limitado quando se trata de aprofundar a intensidade de rebentação. Na tentativa de colmatar essa lacuna, e baseados em registos fotográficos de 49 de algumas das melhores ondas de surf a nível mundial, Mead e Black (2001) trataram matematicamente as características geométricas típicas dos “tubos” (rebentação mergulhante), tal como ilustrado esquematicamente no vórtice apresentado na figura 2.17.

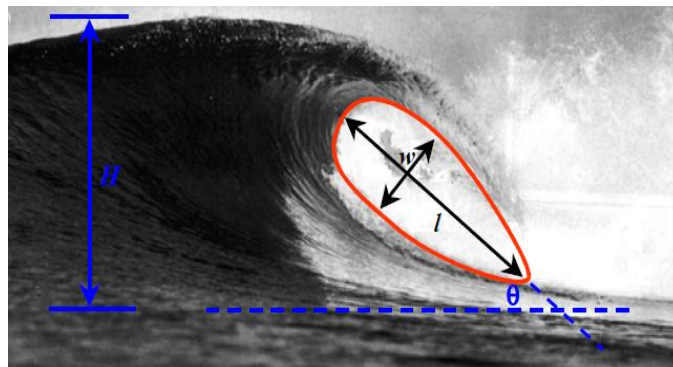


Figura 2.17 – Definição geométrica do vórtice de um “tubo” (Mead e Black, 2001, após Black *et al*, 1997)

Os parâmetros utilizados para a descrição da onda foram o comprimento e a largura do vórtice, l_v e w_v na figura, respectivamente. Após a análise de uma série de variáveis relacionando diferentes parâmetros, descobriu-se que a melhor curva de regressão se ajustava à relação entre a razão l_v/w_v e o gradiente ortogonal dos fundos (ilustrada na figura 2.17), devolvendo um factor de regressão linear de $R^2=0,71$, mais do que ao gradiente normal (com um $R^2=0,57$) ou ainda, por exemplo, da razão entre a altura, H , e a largura, w_v , do vórtice, relativamente ao seu ângulo, θ ($R^2=0,03$), o qual revelou ser um parâmetro instável no decorrer do estudo efectuado. Este resultado parece lógico, na medida em que (interessa esclarecer) o gradiente normal se define como o valor da inclinação medido perpendicularmente ao contorno batimétrico, ao passo que o gradiente ortogonal se define analogamente, mas na direcção do raio da onda incidente, o que dará uma indicação mais precisa da rebentação que a onda experimenta no seguimento da sua trajectória, até rebentar com a necessária obliquidade que a torna surfável (descrita pelo ângulo de rebentação). A relação entre a inclinação normal, s , e a ortogonal, s' , é, assim, dada em função do ângulo de rebentação pela relação 2.12.

$$s' = s \times \cos \alpha \quad (2.12)$$

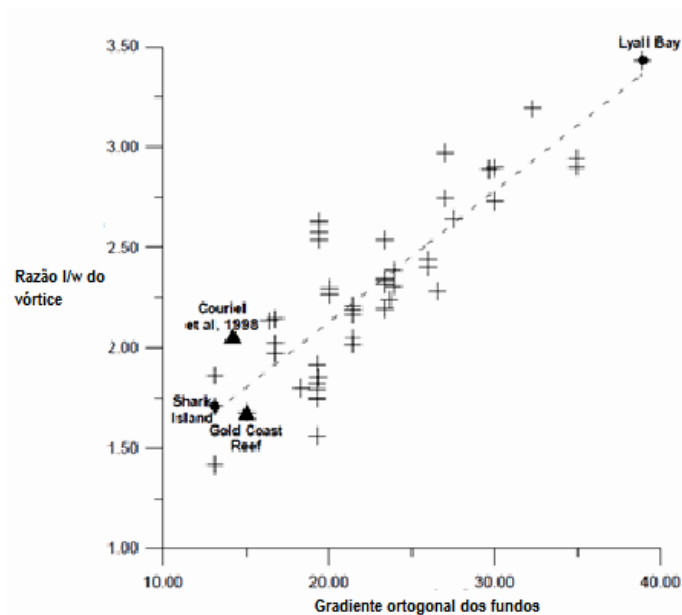


Figura 2.18 – Correlação linear entre l_v/w_v e o gradiente ortogonal dos fundos (Mead e Black, 2001)

A relação geométrica observada no gráfico da figura 2.18 é expressa, matematicamente, pela relação linear indicada na expressão 2.13, onde Y (correspondente a B_i) representa a razão entre o comprimento e a largura do vórtice (l_v/w_v) e X a distância medida na projecção do raio de onda, por unidade de comprimento vertical.

$$Y = 0,065X + 0,821 \quad (2.13)$$

A intensidade é, assim, medida em função de B_i , variando aproximadamente de 1,6 a 3,1 (ver figura 2.19, apresentada na sua reprodução original) sendo que, quanto menor a razão B_i , maior a intensidade de rebentação. Esta abordagem parece pertinente, uma vez que, à medida que a razão se aproxima de 1, a face do tubo se vai aproximando progressivamente da forma circular perfeita (como, por exemplo, nos famosos tubos de Pipeline, no Havai).

Intensidade	Extrema	Muito Elevada	Elevada	Média/Elevada	Média
I/w	1.6-1.9	1.91-2.2	2.21-2.5	2.51-2.8	2.81-3.1
Descrição	Square, spitting	Very hollow	Pitching, hollow	Some tube sections	Steep faced, but rarely tubing
Exemplo	Pipeline, Shark Island	Backdoor, Padang Padang	Kirra Point, Off-The-Wall	Bells Beach, Bingin	Manu Bay, Whangamata
Ilustração					

Figura 2.19 – Quantificação da intensidade de rebentação, B_i , segundo descrita por Mead e Black (2001)

Os autores advertem para o facto de a sua análise não incorporar a altura e o período de onda, que eventualmente possibilitariam a obtenção de resultados mais rigorosos, embora esta seja já uma boa aproximação, servindo como base de apoio à concepção de um recife artificial. A este propósito, convém salientar o ensaio em modelo físico 2D, requisitado por Black relativamente à rebentação das ondas no recife de Narrownneck, testado com uma inclinação dos fundos de 1:14, e o qual se ajustou à equação apresentada pelos autores. De referir, ainda, um estudo contemplando a rebentação de ondas conduzido por Fairley e Davidson (2008), citados por Scarfe *et al* (2009), onde se conclui que o método descrito prevê de forma mais rigorosa o fenómeno de rebentação do que alguns métodos clássicos como, por exemplo, a averiguação através do número de Irribarren.

2.3.2.5. Convergência dos Raios de Onda (*Wave Focusing*)

Este aspecto será afluado em maior profundidade no contexto da concepção da estrutura, no entanto, o princípio a que se refere consiste na convergência dos raios de onda (concentração de energia) e consequente aumento da altura da mesma, acompanhado do aumento do ângulo de rebentação. É um fenómeno particularmente relevante no vértice inicial do recife, correspondente à zona de largada do surfista (*take-off*). O esquema representativo do fenómeno encontra-se ilustrado na figura 2.20.

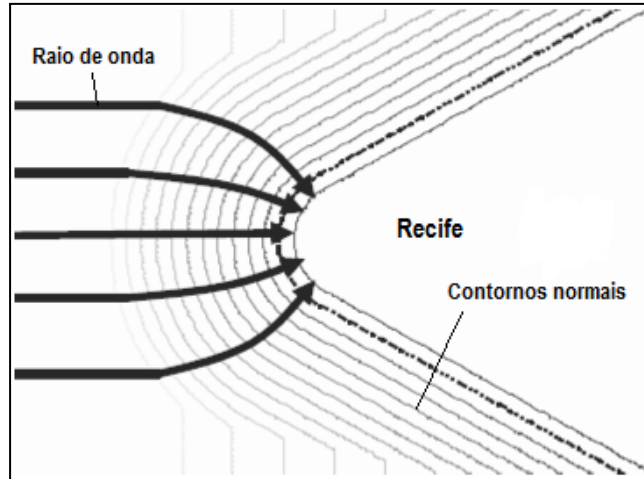


Figura 2.20 – Reprodução esquemática do fenómeno de *wave focusing* (adaptado de Van Ettinger, 2005)

2.3.3. INTERACÇÃO DA ONDA COM O FUNDO

2.3.3.1. Refracção

O fenómeno de refração pode ser analisado considerando a lei de Snel (traduzida na expressão 2.14), aplicável a fundos uniformes segundo a direcção longitudinal à costa. Partindo desta formulação, é possível determinar o ângulo de incidência das ondas em cada ponto batimétrico do recife, tal como esquematizado na figura 2.21.

$$\frac{\sin \theta_i}{c_i} = \frac{\sin \theta_r}{c_r} \quad (2.14)$$

Na expressão 2.14, os índices i e r denotam o momento de início da refração e o instante logo após a refração, respectivamente. Considerando que θ_r assume o valor de α no momento de rebentação, pode reescrever-se a relação anterior, tomando agora a forma da expressão 2.15.

$$\sin \alpha = \frac{c_i \times \sin \theta_r}{c_r} \quad (2.15)$$

Com o auxílio da figura 2.21, e analisando a expressão acima, é possível verificar que para um valor de θ_r , aproximadamente fixado pela geometria do recife, e tendo em conta que c_i é pouco afectada pela profundidade, h , a que o recife começa, mostra-se que α está essencialmente dependente de c_r . À medida que a profundidade da água no recife diminui, c_r sofre também uma diminuição, resultando num aumento do ângulo de rebentação. Na figura 2.20, o raio de onda 1 tem uma perda de refração

superior, comparativamente ao raio 2. Ten Voorde (2010), prova algebricamente que o crescimento do ângulo de rebentação com o decréscimo de profundidade se processa exponencialmente.

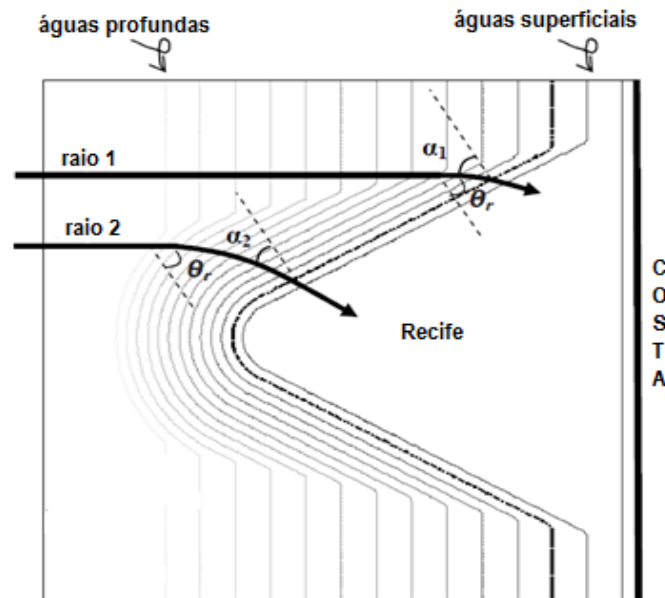


Figura 2.21 – Refracção de ondas incidentes em diferentes profundidades (adaptado de Van Ettinger, 2005)

O fenómeno que propicia o aumento do ângulo de rebentação tem, contudo, um limite máximo para um dado valor de θ_r . Com efeito, Henriquez *et al* (2006) provaram algebricamente (servindo-se de uma aproximação no contexto da óptica geométrica da teoria linear de ondas) que o ângulo de rebentação nunca crescerá a partir de um ângulo de incidência de $\arctan \sqrt{5} \approx 66^\circ$ segundo a direcção normal à linha de costa, quaisquer que sejam as condições da onda. Tal facto é compreensível, na medida em que se considerem os efeitos conjugados de refracção e empolamento. Este aspecto terá, como se verá mais adiante, fortes implicações ao nível do dimensionamento preliminar (subcapítulo 4.3).

2.3.3.2. “Surfabilidade” por Controlo de Refracção

Tal como concluído por Mead e Black (1999a, 2001), citados por Henriquez *et al* (2006), após o estudo conduzido em recifes naturais, o início de refracção das ondas, num contexto propício ao surf, não é assinalável em profundidade, mas essencialmente em águas superficiais, altura em que começam a interagir com o fundo à medida que se aproximam da costa. Verificou-se que os fundos característicos dos melhores *surf-breaks* (locais onde se geram ondas de surf com qualidade) seguiam um padrão, com pequenas variações pontuais, denominado de rampa-plataforma-cunha (*ramp-platform-wedge*), tal como exemplificado na figura 2.22, onde se apresentam também os valores associados à profundidade local da base de cada elemento, h .

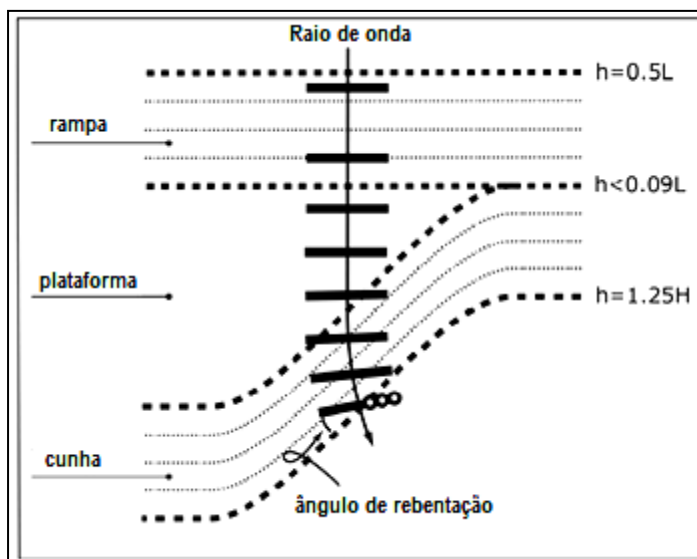


Figura 2.22 – Sequência de refração e rebentação das ondas segundo Mead e Black, 1999, 2001 (adaptado de Henriquez *et al*, 2006)

Tendo em conta o acima mencionado, bem como o exposto no ponto 2.3.3.1, a existência de uma plataforma precedendo a cunha de rebentação traria vantagens quanto ao controlo da refração pretendida. Assim, Henriquez *et al* (2006) investigaram o valor máximo do ângulo de rebentação que se obteria em função da profundidade de início da plataforma, para diferentes declividades de onda, como representado no gráfico da figura 2.23. Uma das conclusões obtidas foi a de que uma variação de 10 a 18 s no período de onda faria variar em somente um metro a profundidade de instalação da plataforma, ao passo que uma amplitude de ondas variável de 1 a 3 m, compreendia uma variação da profundidade mínima da plataforma de 3 a 8 metros.

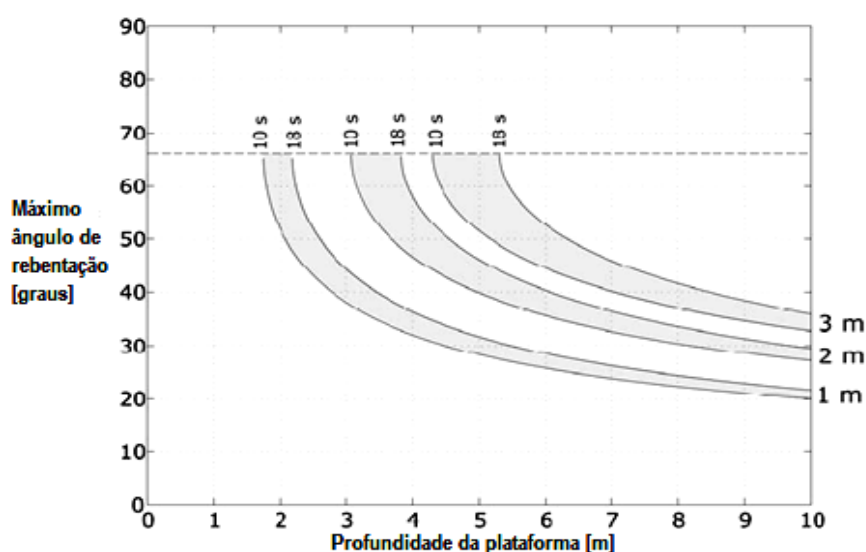


Figura 2.23 – Ábaco relacionando $\alpha_{\text{máx}}$ obtido em função da profundidade mínima da plataforma, alturas e períodos de onda frequentes, para um ângulo de incidência de 66° (adaptado de Henriquez *et al*, 2006)

Segundo os autores, esta situação deverá ser tida em conta nos projectos futuros de recifes artificiais, sendo já exemplificada na versão final do projecto de um RAM para a costa do Dubai, em Jumeirah, estudado por Mocke *et al* (2004), citado por Henriquez *et al* (2006), em que uma plataforma apelidada de “chapéu de bispo” (*bishop's-hat*) precede um talude de rebentação em forma de lente (figura 2.24). Smit *et al* (2007) referem que a utilização da plataforma, apesar de benéfica ao nível do controlo da refacção que precede o rebentamento da onda sobre o recife poderá revelar-se, contudo, prejudicial, ao permitir que as ondas maiores rebentem em *close-out* (α aproximadamente de 0 a 13°). Acrescentam, contudo, não haver razão para preocupações no caso específico, dado o limitado regime de ondas típicas do Dubai possibilitar um dimensionamento satisfatório da plataforma para as condições aí encontradas.

Convém referir, a este propósito, que segundo Ten Voorde (2010) a influência da incorporação de uma plataforma no desenho de um recife não se encontra, ainda, completamente averiguada no que diz respeito à protecção costeira.



Figura 2.24 – Localização proposta para o recife multifuncional de Jumeirah, Dubai (Smit *et al*, 2007)

2.3.4. CONTEXTO ESPECÍFICO DA COSTA OCIDENTAL PORTUGUESA

Como tem já vindo a ser referido ao longo deste subcapítulo, Ten Voorde (2010), ao investigar a geometria óptima de um RAM, em delta, para a costa Oeste portuguesa (reportando-se ao caso de Leirosa, na figueira da Foz), estuda algumas das propriedades ainda não averiguadas até então no contexto local nacional.

Os resultados dos ensaios físicos e numéricos conduzidos apontaram para uma configuração óptima da estrutura que compreendesse uma submergência, S , igual à altura da onda incidente em águas profundas, H_0 , assumindo o valor de 1,5 m. Este valor de S , além de parecer adequado em termos de segurança (por comparação a outras obras já existentes), conjugado com um declive do talude de 1:10 (maximizando, assim, a gama de alturas de onda que rebentam sobre o recife nas condições locais

mais frequentes) e uma altura do recife condicionada a 3,20 m, mostrou ser o cenário mais propício à formação de uma onda de qualidade.

No cômputo geral, para além das características já mencionadas, os melhores resultados obtidos considerando o nível de aptidão de surfistas amadores, compreendiam um recife com um ângulo de 66° relativamente à incidência normal e sem inclusão de plataforma. Embora alguns parâmetros tenham revelado melhor desempenho para um ângulo de 45° , o facto de se ter optado por dar primazia ao ângulo de rebentação e altura de onda sobre o recife, H_b , em detrimento de parâmetros como o número de Irribarren ou a extensão da linha de rebentação (*breaker line*), levou a que se optasse pela configuração já referida.

A configuração “ótima” deste recife foi obtida passo a passo, alternando a realização de ensaios numéricos com ensaios físicos, muito embora se deva salientar que, considerando a natureza específica destas obras, fortemente condicionadas pelas características do local de implantação, estes resultados, por si só, não se constituem como um conjunto de regras a seguir de forma dogmática. Perante a especificidade de cada obra, o projectista deve tomar as opções que considera mais adequadas tendo em conta as circunstâncias para as quais está a dimensionar a estrutura, bem como o âmbito de utilização que lhe pretende conferir ao nível do surf.

No que respeita à protecção costeira, os resultados foram inconclusivos em todos os cenários testados. Os ensaios conduzidos em modelo numérico (COULWAVE) não revelaram a formação clara de um padrão de circulação de correntes, previsível segundo o método adoptado (Ranasinghe *et al*, 2006), embora se deva salientar que o fenómeno de *wave focusing* não tenha sido considerado nos ensaios efectuados, facto que, segundo a autora, poderá ter afectado negativamente o desempenho da estrutura. Por outro lado, e exceptuando a fixação do valor de afastamento do vértice do recife relativamente à costa, S_a , o número limitado de cenários testados não possibilita que se retirem grandes conclusões.

2.3.5. SURF JUNTO A SINGULARIDADES DE OCORRÊNCIA NATURAL E ARTIFICIAL – NOTA BREVE

Por vezes, a criação de locais propícios ao surf ocorre de forma accidental ou inadvertida, quer junto à cabeça de cabos, molhes ou esporões, como é o caso de Kirra Point, representado na figura 2.25, ou, por exemplo, através de alimentação artificial de areias. O caso mais representativo desta última situação é o famoso *Superbank*, considerada por muitos como a melhor onda de surf alguma vez criada artificialmente. O sistema de alimentação em *By-Pass* instalado junto à embocadura do rio Tweed, na costa Sul de Queensland, Austrália, proporcionou a criação de uma extensa linha de rebentação ao longo das praias adjacentes.

Relativamente à primeira situação, interessa referir um relatório técnico preparado por Scarfe *et al* (2003) que, após a análise de alguns casos de estudo, e com o intuito de alertar para a possibilidade de incorporação progressiva do surf em obras costeiras tradicionais, procedem à classificação de molhes em quatro tipos, de acordo com as características que cada tipo de molhe propicia ao surf, descrevendo o seu modo de funcionamento através de conclusões resultantes de diversos estudos conduzidos por Black, Mead e Andrews.



Figura 2.25 – Refracção de ondas em torno do esporão de Kirra Point, Gold Coast, Austrália, criando um local propício ao surf (fonte: *Tracks Magazine*, 2000, citada em Phillips *et al*, 2009)

2.4. RECIFES ARTIFICIAIS ASSOCIADOS À PRÁTICA DE SURF – ESTADO DE ARTE

2.4.1. ENQUADRAMENTO

Os casos que se apresentam neste subcapítulo são considerados como os mais relevantes no panorama da tecnologia dos recifes artificiais multifuncionais, desenvolvidos até à data presente, sendo os mais frequentemente citados na bibliografia. São fornecidos, sempre que possível, os dados de maior importância a ter em conta na avaliação do impacto e desempenho destas estruturas, nomeadamente: condições locais de agitação, amplitude de marés e descrição sumária dos recifes. No final de cada caso serão apresentados os resultados de monitorização possíveis de apurar.

A encerrar o subcapítulo, é apresentado um quadro síntese com a crítica aos casos mais relevantes, suportada nas principais metodologias utilizadas para averiguação do impacto das estruturas ao nível da protecção costeira (apresentadas no início do capítulo). A vertente funcional associada ao surf comporta uma maior subjectividade na análise, não sendo o principal foco da crítica, a qual vai sendo exposta ao longo da descrição dos resultados de monitorização.

2.4.2. DESCRIÇÃO DE CASOS

2.4.2.1. Recife de Bargara (Queensland, Costa Ocidental da Austrália)

Mais do que de um recife, no sentido tratado no âmbito desta tese, os trabalhos levados a cabo em Bargara no ano de 1997 consistiram, essencialmente, na regularização da batimetria existente, promovendo, desse modo, uma zona de rebentação de agitação sem descontinuidades abruptas (Pitt, 2005, citado por Jackson et Corbett, 2007).

As ondas no local apresentam, tipicamente, alturas inferiores a 1 m, sendo a ondulação mais comum de 0,2 a 0,4 m, com períodos de 6 a 9 s. As marés são semi-diurnas com uma amplitude de sizígia de 2,5 m (Jackson e Corbett, 2007).

Não foi realizado nenhum estudo no âmbito do projecto, tendo este sido efectuado com base no conhecimento existente das condições locais. O processo construtivo consistiu, simplesmente, na remoção, em baixa-mar, de pedras de basalto de um promontório existente na zona e subsequente realocação das rochas de forma a mitigar os impactos negativos sobre a zona de surf. No total foram usados 300 m³ de rocha, comportando um custo final de obra de 10000 dólares australianos (cerca de A\$30/ m³), excluindo o tempo dispendido pela comunidade no auxílio a todo o processo, segundo Redgard (2006), citado por Jackson e Corbett (2007).

Não são divulgados resultados de monitorização posterior parecendo, no entanto, notória a melhoria das condições de surf no local, aumentando a segurança e a extensão da zona de rebentação em condições de nível de maré elevada e ondas de aproximadamente 1 m, com vento ligeiro e/ou soprando de terra. O número de dias surfáveis é relativamente baixo, mas as expectativas não parecem ter sido colocadas num patamar irrealista, dado que se considera ter ocorrido uma melhoria das condições, bem como o aumento do número de dias com ondas favoráveis ao surf (Redgard, 2006). Não foi reportada nenhuma lesão grave de praticantes no local. Adicionalmente, não se previa qualquer afectação significativa dos processos costeiros em virtude dos trabalhos no promontório (Jackson e Corbett, 2007).

2.4.2.2. Recife Cables (Perth, Costa Ocidental da Austrália)

A sua construção decorreu entre Fevereiro e Dezembro de 1999, tendo sido o primeiro recife artificial exclusivamente projectado para melhoria das condições de surf, servindo como modo de dispersão do elevado número de surfistas que procuram a zona para a prática da modalidade.

A altura de onda mais frequente é de 0,65 m, com um período de 11,8s e incidência predominante centrada em 275° com variações de 10°. A máxima oscilação de maré diurna é de 1,2 m (Pattiaratchi, 2007, citado por ASR America, 2008), apresentando uma amplitude média de 0,55 m (Bancroft, 1999). A altura de onda significativa, H_s , de acordo com Lemme et al (1999), citado por Jackson e Corbett (2007), é de 2 m com um período médio espectral de 8,8 s, embora se registe uma variação sazonal significativa (considere-se 1,5 m, por interpretação dos dados anuais apresentados em Jackson e Corbett, 2007), não se formando praia arenosa nos meses de Inverno. Não foram disponibilizadas informações relativamente ao transporte de sedimentos, no âmbito da concepção do recife.

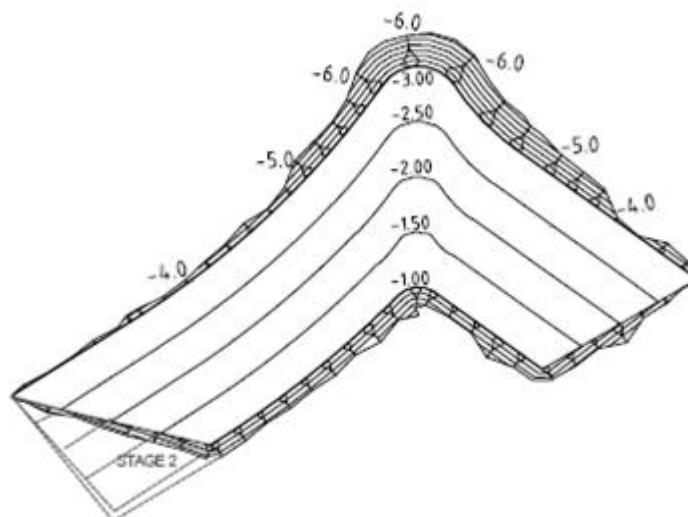


Figura 2.26 – Planta inicial do recife de Cables (adaptado de Jackson e Corbett, 2007)

A estrutura possui um comprimento de 140 m medidos paralelamente à costa, 70 m segundo a direcção normal, sendo a base do recife posicionada 400 m ao largo (razão de $L_s/X = 0,35$), com uma extensão de crista de 50 m (segundo a normal à costa). Do projecto, constava uma inclinação de talude de 1:20 e uma profundidade máxima de coroamento de 1,0 m (nível médio do mar). Foi construído sobre fundo rochoso com material granítico proveniente dos penhascos que abundam na região. A sua concepção previa uma maximização do número de dias de surf disponíveis por ano, com “esquerdas” e “direitas”, devido à sua configuração em “A” (fazendo lembrar um bumerangue), por uma extensão de 30 a 80 m (Pattiaratchi, 2007). O volume total de rocha mobilizado foi de 5500 m³, comportando a obra, no final, um custo total de 1,8 milhões de dólares australianos, cerca de A\$327/m³ (Jackson *et al*, 2007).

Os resultados de monitorização apresentados por Bancroft (1999) e Pattiaratchi (2003), levam a concluir que o recife se comporta de acordo com o previsto, actuando em ondas de altura aproximada de 0,5 m durante marés de nível reduzido. Pattiaratchi (2003) refere que, de 178 dias observados em 1999, 142 apresentaram ondas consideradas surfáveis ressaltando, ainda, que existe uma grande dependência do número de dias surfáveis por ano face à variabilidade inter-anual do clima de ondas. Contudo, o mesmo autor não apresenta o mesmo tipo de dados na fase anterior à construção do recife, tanto no local, como em praias adjacentes. Simioni e Esteves (2010), por meio de registos obtidos na internet, referem que a opinião pública considera, em geral, que o recife apresenta um bom desempenho, sobretudo no Inverno, e que o número de surfistas no local em dias bons é bastante elevado. Os mesmos autores afirmam não ter encontrado dados relativos ao impacto da estrutura na morfodinâmica e largura da praia adjacente.

2.4.2.3. Recife de Narrowneck (Gold Coast, Costa Ocidental da Austrália)

O recife de Narrowneck foi construído entre Agosto de 1999 e Dezembro de 2000, e teve como principal objectivo a defesa costeira, embora tenha sido publicitado como sendo uma estrutura que possibilitaria igualmente a melhoria das condições de surf, servindo como estímulo económico para a

região. Enquadrou-se no projecto de reabilitação de uma praia que incluiu, ainda, uma alimentação artificial de 1,3 milhões m³ de areia (figura 2.27).



Figura 2.27 – Vista aérea do recife de Narrowneck em condições de nível de maré reduzida (ASR America, 2008)

A altura de ondas típica na região oscila entre os 0,5 e os 3,0 m, com uma altura significativa de 1,0 m embora, excepcionalmente, se tenham já registado alturas de 13 m, em condições mais severas. Os períodos de onda variam de 6 a 13s, com valor médio de 11s. As direcções da ondulação distribuem-se no intervalo dos 75 aos 115°, apresentando um valor médio de 95°. As marés são semi-diurnas com uma amplitude de 2,09 m. A faixa costeira é predominantemente constituída por areia, registando-se um transporte médio anual de sedimentos de 500000 m³ de acordo com Black *et al*, 1998, citado no relatório técnico para o estudo de viabilidade de recifes artificiais multifuncionais ao longo da costa de Brevard County, Florida (ASR America, 2008).

As dimensões de projecto do recife são de 175 m (medidos ao longo da costa), 400 m (na direcção normal à costa), sendo o posicionamento da base da estrutura situada 150 m ao largo (razão $L_s/X = 1,16$). O dimensionamento previu diferentes inclinações consoante a zona do recife, sendo 1:18 para o foco inicial de convergência de ondas (*reef focus*), 1:12 na face do recife e 1:8 nas secções rápidas. A extensão do coroamento é de 300 m, medidos segundo a direcção normal à costa. O projecto compreendia o enchimento de 408 sacos geo-têxteis, com comprimento de 20 m e diâmetro de 3 a 4,5 m, pesando entre 300 e 400 toneladas cada, após enchimento com areia.

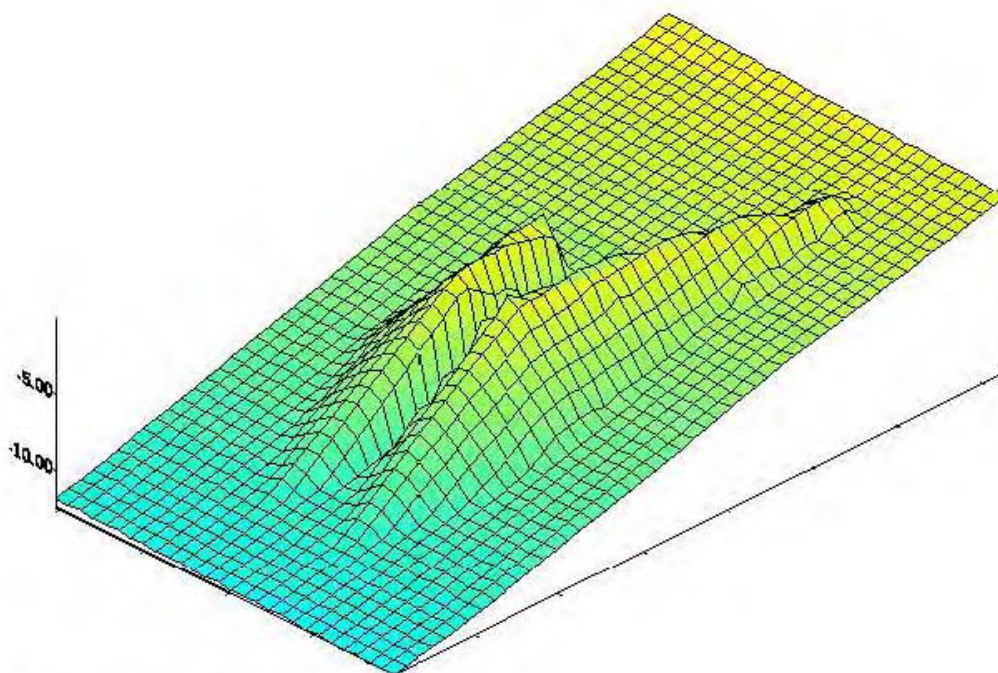


Figura 2.28 – Vista 3D do recife de Narrowneck por Black e Mead, 2001 (fonte: ASR America, 2008)

Ao contrário do que seria de esperar, a equipa de projectistas não desempenhou qualquer papel na fase construtiva, tendo a estrutura final ficado aquém das especificações constantes no projecto (ASR America, 2008). Como resultado dessa ausência de comunicação, a estrutura final apresenta dimensões generalizadamente mais reduzidas. A cota de coroamento, por exemplo, encontra-se rebaixada a - 2,5 m (AHD – *Australian Height Datum*), quando o projecto previa somente - 1,0 m (AHD – aqui correspondente a - 1,0 m ao nível médio do mar) de profundidade para a cota de coroamento máxima (Jackson *et al*, 2007), de modo a que a onda significativa, H_s , de 1 m, pudesse quebrar em níveis de maré elevada (ASR America, 2008). A empresa ASR aponta as limitações do equipamento utilizado como uma das causas dessa alteração, por dificuldade de colocação dos sacos à profundidade prevista no projecto, além do assentamento diferencial que alguns dos geocontentores sofreram após deposição (Black e Mead, 2009). Adicionalmente, referem que o posicionamento dos sacos foi realizado com pouca precisão, resultando em visíveis lacunas na sua colocação e consequentes implicações na qualidade de rebentação da onda surfável. O volume final de areia empregue na construção foi de 60000 m³, menos de metade dos 128000 m³ inicialmente previstos. Desde 2001 que se tem vindo a proceder à colocação de um número adicional de sacos, bem como a pequenos reajustes no recife, visando a sua eficiência e manutenção. O custo final efectivo da obra foi de A\$54/m³ tendo o processo construtivo, não obstante o incumprimento do projecto inicial, sido considerado bastante eficiente ao nível da contenção de custos (Jackson *et al*, 2007).

A monitorização levada a cabo demonstrou um aumento de largura da praia para quase o dobro, logo após a construção do recife, resultando, no entanto, da alimentação a que aquela foi sujeita. Segundo os dados mais recentes de monitorização do relatório técnico WRL (Black *et al*, 2007), citado por ASR America (2008), a largura da praia não se alterou significativamente desde a alimentação artificial verificando-se, contudo, a formação de uma saliência de dimensão, não obstante, inferior aos 78 m previstos pelos modelos. No entanto, não há referências efectivas respeitantes à capacidade do

recife em promover a deposição de sedimentos ou a retenção das areias adicionadas por comparação com outros trechos de praia, também estes sujeitos a alimentação artificial, mas já fora da área de influência do recife (Simioni e Esteves, 2010).

Registou-se que a rebentação das ondas se verifica quando a altura de onda é superior a 1m (WRL, 2007), facto que ocorre cerca de 50% das vezes. A extensão da linha de percurso do surfista é, em média, de 150 a 200 m, com duração média de 30 s (Jackson *et al*, 2007). Foi ainda observado pela mesma fonte que os bancos de areia formados a sotamar do recife (adjacentes à saliência em condições de baixa-mar) atraem alguns surfistas, embora não existam dados relativos à percentagem de ondas que aí rebentam. Considera-se que o recife foi bem sucedido na melhoria geral das ondas para a prática de surf registando-se, contudo, algum descontentamento da população, o qual se atribui a expectativas demasiado elevadas, e mesmo irrealistas, em torno do projecto. Verifica-se, ainda, que o recife foi muito bem sucedido enquanto local propício à proliferação de vida marinha em seu redor, facto que atrai numerosos mergulhadores à área (Jackson *et al*, 2007).

2.4.2.4. Recife Pratte (El Segundo, Califórnia, EUA)

Este foi o primeiro recife artificial a ser construído nos EUA, tendo como principal objectivo a recuperação de locais para surf após a construção do esporão de El Segundo. A sua construção teve lugar em 2001 e compreendeu a mobilização de 1600 m³ de areia por 200 sacos geo-têxteis de 14 toneladas cada (Borrero e Nelson, 2003), tendo um orçamento limitado a US\$300000, cerca de A\$285/m³ (Jackson e Corbett, 2007).

As condições de agitação no local, segundo dados da National Data Buoy Center (citados em ASR America, 2008), indicam a existência de ondas ao largo com alturas entre 1 e 7 m, com uma altura de onda média significativa de 1,25 m. Os períodos de pico variam entre os 7 e os 25 s, com um período médio de 12 s. As marés são semi-diurnas com uma oscilação média de 1,65 m (NOOA - *National Oceanographic and Atmospheric Administration*, 2008, citado por ASR America, 2008), sendo a agitação predominante de Oeste e Sudoeste.

As dimensões de projecto do recife previam um comprimento de 60 por 30 m, medidos paralelamente e segundo a normal à costa, respectivamente, estando a base do recife posicionada a aproximadamente 80 m ao largo, com razão $L_s/X = 0,75$ (ASR America, 2008). A cota máxima do recife encontrava-se a - 1,8 m (MLLW – *Mean Lower Low Water*), mais tarde elevada para - 0,9 m (MLLW), tal como referido em Jackson e Corbett (2007). O comprimento da crista, segundo a direcção normal à costa era de 12 m. O recife foi construído pela deposição de 200 sacos geo-têxteis de dois tipos: poliéster e polipropileno (Borrero e Nelson, 2003)

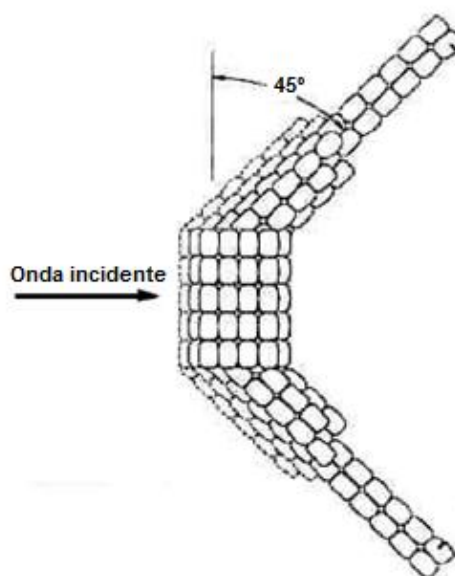


Figura 2.29 – Planta do recife de Pratte (adaptado de Borrero e Nelson, 2003)

As análises efectuadas após a construção do recife revelaram que a linha costeira não reagiu de forma apreciável à presença da estrutura, o que se deverá, em parte, ao rápido rebaixamento da crista pouco tempo após a construção. Por outro lado, verificou-se que os sacos de polipropileno se danificaram com facilidade, ao passo que os sacos de poliéster se desviaram da sua posição correcta, apesar de não terem sofrido estragos. Observações mais recentes revelaram ainda que o recife acabou por ser coberto por bancos de areia móveis (Borrero e Nelson, 2003).

Foram registadas 427 observações relativas ao surf (SEO – *Surf Environment Observations*), de carácter voluntário, durante um período de dois anos desde o final da construção, revelando que menos de 25 pessoas surfaram o recife durante esse período. Verificou-se que somente ondas com um período curto responderam às reduzidas dimensões do recife (Borrero e Nelson, 2003), embora algumas ondas que aí quebraram nas condições correctas (1 a 5 vezes por ano) tenham sido qualificadas como “épicas” pelos voluntários (Jackson e Corbett, 2007).

No cômputo geral, o recife ficou bastante aquém das expectativas, revelando uma fraca prestação enquanto local de rebentação regular de ondas surfáveis ressaltando-se, por outro lado, o seu desempenho apreciável na instalação de um ecossistema marinho, começando a ser registados os primeiros sinais de vida marinha poucas semanas após a deposição dos primeiros sacos (Jackson e Corbett, 2007).

Segundo Borrero e Nelson (2003) o mau desempenho do recife enquanto local propício ao surf deveu-se, essencialmente, a deficiências na concepção, mais do que a factores como má localização ou agitação adversa. Adicionalmente, os sacos usados eram demasiado pequenos e de fraca qualidade para sustermem as acções oceânicas incidentes. Por comparação com o recife de Narrowneck, faltou volume e dimensão (normal à costa) para que a estrutura surtisse algum efeito sobre as ondas de maior período, que tipicamente produzem as melhores ondas surfáveis (ASR America, 2008).

Dada a sua ineficiência geral, o recife acabou por ser removido em 2008 (Simioni e Esteves, 2010).

2.4.2.5. Recife de Mount (Mount Maunganui, Costa Ocidental da Nova Zelândia)

Este recife foi inicialmente concebido para melhoria das condições de surf, tendo a sua construção sido iniciada em Novembro de 2005 e concluída em Junho de 2008. Os atrasos deveram-se a problemas na angariação de fundos para a prossecução da obra. A estrutura comportou um custo de 645000 €, num total de 6500 m³ de areia mobilizada por 24 sacos geossintéticos (Simioni e Esteves, 2010).

As condições locais de agitação caracterizam-se por uma frequência típica de ondas no intervalo de 1,0 a 4,0 m, sendo a altura de onda significativa de 1,5 m. Os períodos de onda variam entre os 5 e os 13 s, com um período médio de 11 s. As direcções predominantes de agitação situam-se entre 30 e 70°, com uma orientação média de 50°. As marés são semi-diurnas com amplitude média de 2,0 m. A linha costeira é predominantemente arenosa, registando-se um transporte de sedimentos variável da ordem de 100000 m³ por ano de acordo com Black e Mead (2007), citados pelo relatório da ASR America (2008).

A estrutura foi otimizada para ondulações de H_s variando de 1,0 a 1,5 m, com períodos entre 8 e 10 s, tendo sido previsto, em modelo físico, que as melhores condições para o surf ocorreriam durante o nível médio de maré com ondulações entre 1,5 e 2,0 m (Mead *et al*, 2007, citado no relatório técnico de 2008). A formação variável de uma pequena saliência estava também prevista por Black *et al*, 2007 (igualmente citado no relatório da ASR America, 2008).

O dimensionamento do recife previa um comprimento de 90 m (paralelo à costa), 70 m (segundo a normal), com a base da estrutura posicionada aproximadamente a 280 m ao largo (apresentando uma razão $L_s/X = 0,32$). Os geocontentores variavam, em tamanho, de 50 m × 7,2 m × 3,2 m a 30 m × 1,5 m × 1,0 m (ambos após enchimento), tendo sido dispostos em forma de “A”. A zona de convergência (*reef focus*) apresentava uma inclinação de 1:50 a 1:20, seguida da face com gradiente de 1:20 a 1:10 (ASR America, 2008). De modo a aumentar a precisão de colocação dos sacos, a ASR Ltd. desenvolveu um método apelidado de RAD (*Rapid Accurate Deployment*), o qual consistia em fixar os sacos a uma malha de material geossintético (*geomat*) previamente colocada, sendo posteriormente enchidos com areia, quando já posicionados sobre os fundos. Registaram-se, contudo, alguns problemas durante a operação de enchimento de um dos contentores, tendo ficado demasiado cheio, o que levou à sua ruptura (facto inédito em 20 anos, em sacos desta natureza) e consequente substituição. Perderam-se, ainda, cerca de 1500 m³ de areia devido a problemas ocorridos no encaixe da tremonha durante a operação de bombagem (ASR America, 2008). A companhia salienta, mais uma vez, a importância da coordenação entre projectistas e construtores, uma vez que nenhum elemento da equipa de concepção esteve presente durante o enchimento.

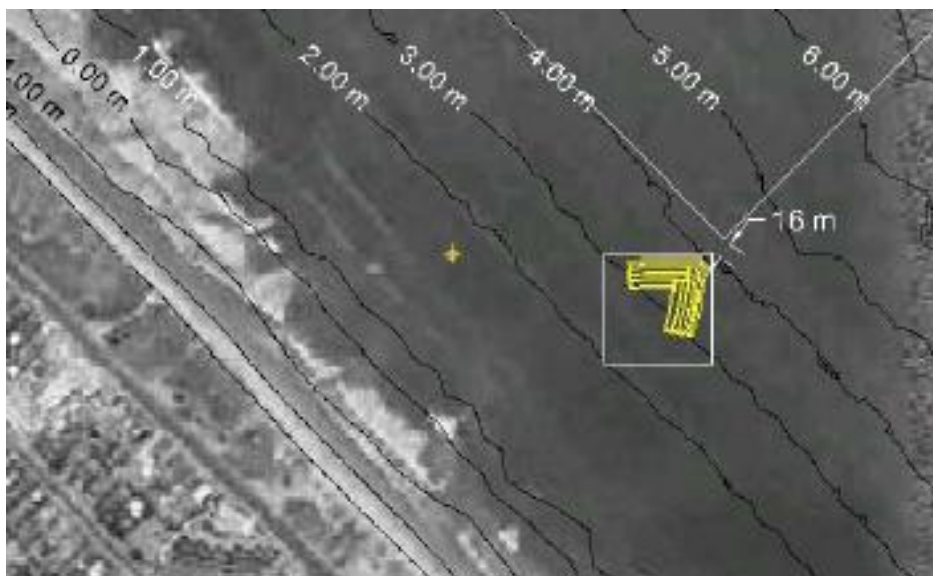


Figura 2.30 – Recife de Mount Maunganui na sua versão final (adaptado de *Understand, Innovate, Sustain – ASR reef presentation* by Dr. Kerry Black)

De acordo com Black *et al* (2007), inspecções batimétricas realizadas desde a construção do recife revelaram formação variável de saliências, facto expectável, dada a razão $L_s/X=0,32$ se encontrar no intervalo de acreção, sendo possível que se venham a formar ainda mais. Não foram encontrados, no entanto, dados relativos às dimensões e condições em que as saliências se formaram.

Segundo Simioni e Esteves (2010), no respeitante à prática de surf interessa destacar a opinião sumária de Shaw Mead, director da companhia ASR Ltd, o qual refere que o recife não tem vindo a atingir os seus objectivos, sendo que as expectativas geradas em torno do projecto estariam acima do que a empresa poderia oferecer, citando notícia de um jornal local (NZHerald, 2009). Ainda de acordo com os mesmos autores, o assunto gera igualmente polémica no seio da opinião pública, bem espelhada, a título de exemplo, noutra notícia publicada no site do mesmo jornal (NZHerald, 2009) em que, de 44 comentários recebidos, foram recolhidas 84% de opiniões desfavoráveis em relação à eficiência do recife. Os autores citados afirmam não ter encontrado qualquer relatório de monitorização relativa à qualidade das ondas, embora a empresa refira (ASR America, 2008) existirem boas evidências, suportadas em imagens obtidas por surfistas e *sites* de surf, de que ocorreu uma melhoria das condições para a prática da modalidade.

2.4.2.6. Recife de Opunake (Taranaki District, Costa Ocidental da Nova Zelândia)

De acordo com Black, este recife seria concebido para produzir ondas rápidas e cavadas, especialmente favoráveis à prática de surf e *bodyboard*, oferecendo uma onda única na zona (ASR America, 2008).

A amplitude de maré no local é superior a 3 m (Jackson e Corbett, 2007)

O recife foi construído sobre uma zona rochosa que serve de base a uma fina camada de areia. A sua construção iniciou-se em Março de 2006, tendo sido interrompida por condições climáticas adversas e indisponibilidade de equipamento, em utilização no recife de Mount Maunganui. Nos dois verões seguintes os trabalhos retomaram até que, em Abril de 2008, 27 sacos geossintéticos estavam colocados, perfazendo um volume aproximado de 4900 m³, dispostos numa configuração aproximadamente rectangular (em planta) e compreendendo 30 m de largura, 99 m de comprimento e 3,5 m de altura. Não foi necessária ancoragem dos sacos ao fundo. A estrutura foi construída a uma profundidade variável dos - 3,0 aos - 1,8 m (MMA – mínima maré astronómica). A zona mais elevada encontra-se a 0,0 m (MMA) de forma a que as ondas quebrem com a maior frequência possível, mas sem que a estrutura se apresente emersa, excepto em condições extremas de maré (ASR America, 2008).

Segundo o apurado por Simioni e Esteves (2010), em Abril de 2008 o custo do recife ascendia a NZ\$1,7 milhões sendo que, decorrido um ano, faltariam ainda arrecadar entre NZ\$60000 e 70000 para a sua conclusão (Taranaki Daily News, 2008, 2009).

De acordo com o que foi possível apurar até à data, e de acordo com notícia publicada no site do jornal *Taranaki Daily Telegraph*, em 16 de Fevereiro de 2010, a obra ainda não foi concluída, sendo necessário proceder a reajustes no projecto inicial, na sequência de alterações ocorridas nos fundos desde o início da construção do recife, no decorrer dos últimos 4 anos. A empresa americana Sealutions LLC sucedeu, entretanto, à ASR Ltd, responsável pela concepção original da estrutura. De acordo com a mesma fonte, o custo do recife até ao momento ultrapassa já os NZ\$2 milhões, não havendo prazos fixados para a sua conclusão.

2.4.2.7. Recife de Boscombe (Bornemouth, Sul do Reino Unido)

Trata-se do primeiro recife artificial a ser construído na Europa. A obra teve início em Outubro de 2008, tendo terminado em Setembro de 2009, com um custo estimado próximo dos €3,5 milhões (Simioni e Esteves, 2010).

De acordo com uma *newsletter* da empresa ASR, na qual se divulgam os resultados de concepção do recife em fase inicial, a estrutura possuiria um coroaamento máximo de + 0,5 m (ZH), comportando um volume de 15000 m³ implantado numa área de 10000 m². Pelo que se pode depreender através das condições do ensaio numérico descrito, a oscilação de maré seria de aproximadamente 2 m, com uma altura de onda ao largo de 1,0 m e período de 7 s.

O principal objectivo do recife seria melhorar as condições para a prática de surf, com especial atenção prestada ao aumento da altura de onda. Com efeito, tratando-se de um local de ondulação bastante reduzida e com pouca dispersão da direcção de propagação, a concepção centrou-se na optimização do número de dias surfáveis, garantindo que no recife quebrariam as maiores ondas possíveis sobre todo o comprimento da zona de rebentação (Black e Mead, 2009).

A estrutura, de acordo com o projecto, é constituída por sacos geossintéticos dispostos em duas camadas e repartidos por cinco secções, encontrando-se fixados sobre uma camada de material geotêxtil (*geomat*), de maneira a impedir o seu afundamento. O recife apresenta dois níveis diferentes, em que, inicialmente, surge uma plataforma de inclinação reduzida, de modo a concentrar a energia

das ondas, à qual se segue a zona de rebentação propriamente dita, de forma semi-circular (Black e Mead, 2009), tal como ilustrado na figura 2.31.

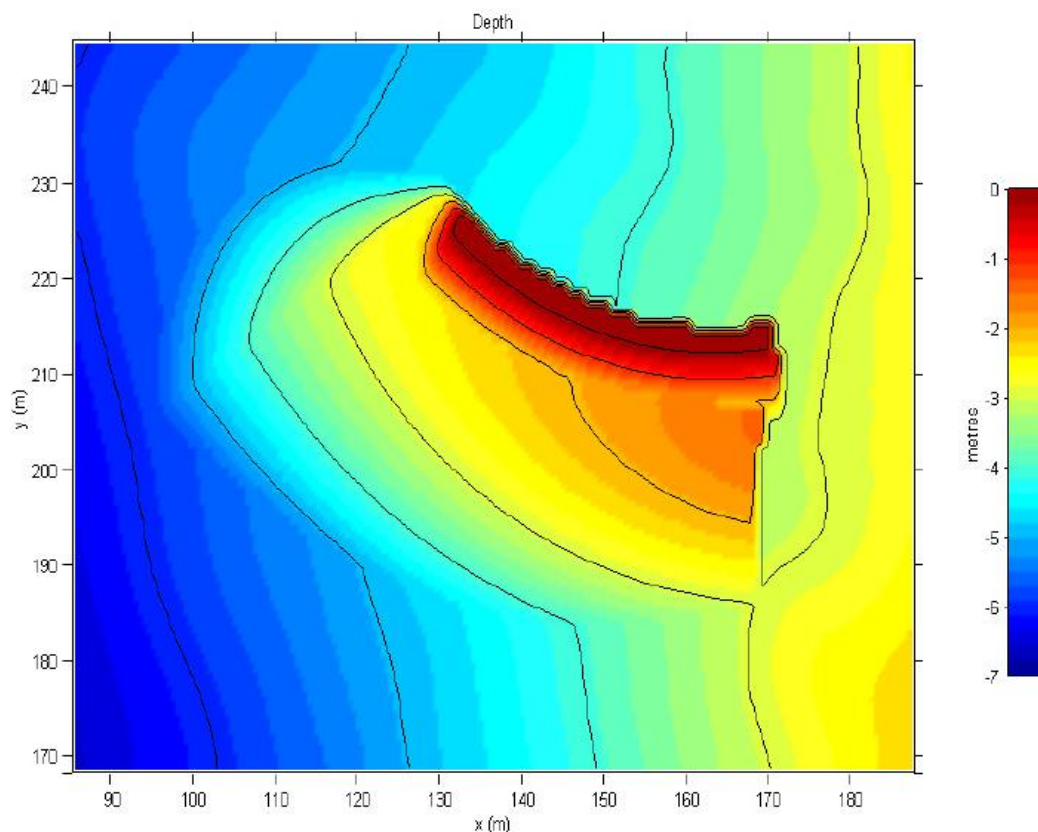


Figura 2.31 – Recife de Boscombe testado em modelo numérico (Black e Mead, 2009)

Um relatório de monitorização, relativo ao desempenho do recife no decorrer de um ano de funcionamento, foi encomendado à universidade de Plymouth pelas autoridades locais, as quais, no entanto, se recusaram a torná-lo público, por enquanto. O recife tem gerado polémica, não só pela sua aparente ineficiência, como também pelos custos galopantes que surgiram durante a construção, tornando a opinião pública relutante face ao investimento. A companhia responsável, ASR Ltd, afirma que ainda não se proporcionaram as condições ideais de agitação para que a estrutura demonstrasse todo o seu potencial. Aguarda-se, para breve, a realização da primeira competição de surf sobre o recife, segundo notícia do site da empresa (www.asrltd.com, acedido em Março de 2010).

2.4.2.8. Outros Casos de Interesse

Recife de Kovalam, Kerala, Costa Sudoeste da Índia

Recentemente (coincidindo com a realização da presente tese) foi inaugurado um recife multifuncional em Kerala, na Índia, embora não seja possível tirar conclusões devido à actual inexistência óbvia de

dados de monitorização. De acordo com o estudo de viabilidade levado a cabo por Matthew *et al* (2003), a amplitude média de maré varia entre 0,7 a 0,9 m, com H_s média de 0,8 m. A zona apresenta, ainda, um transporte anual de sedimentos de cerca de 200000 m³.

Recife de São Pedro do Estoril, Cascais, Portugal (em fase de estudo)

Interessa ainda referir, de entre os muitos projectos que decorrem a nível mundial, o caso português, referente ao recife em estudo para a praia de São Pedro do Estoril, em Cascais. Este recife destina-se exclusivamente à prática de surf. Será construído em pedra e apresentará uma geometria semelhante a uma rampa, como representado na figura 2.32. As condições marítimas locais indicam a predominância de uma altura de onda significativa variando dos 0 aos 2 m, T_z dos 5 aos 11 s e uma direcção média frequente de agitação compreendida entre os 235 a 255°, segundo dados apresentados por Proença (2009), no âmbito de um estudo numérico realizado ao recife. Estes dados foram baseados nos resultados de Fortes *et al* (2001) para as características de agitação ao largo da praia de São Pedro do Estoril, os quais resultaram da transferência das características de agitação ao largo da praia da Figueira da Foz, utilizando a metodologia TRANSFER. A amplitude máxima de maré para a qual a estrutura aparece testada em Proença (2009) é de + 3,7 m (ZH), com nível médio a + 2,0 m (ZH).

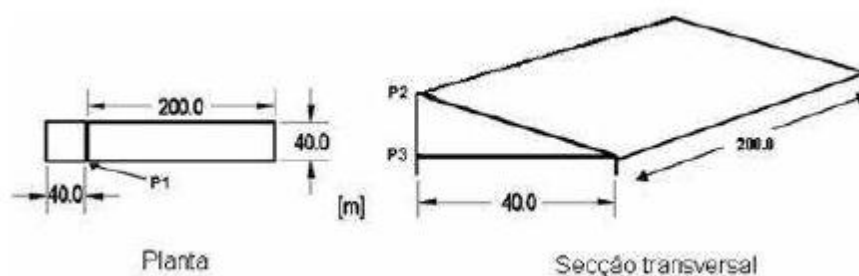


Figura 2.32 – Representação da planta e perfil transversal do recife de Cascais, por Bicudo *et al*, 2007 (Proença, 2009)

2.4.2.9. Conclusões

Após a análise dos recifes já instalados a nível mundial (seis propriamente ditos, cuja obra foi efectivamente concluída), parece notória a falta de um conjunto de regras uniformizadas de concepção e construção para obras desta natureza, ao que não será alheio o facto de se tratar de um tipo de estrutura só recentemente introduzido. Adicionalmente, a concepção dos recifes artificiais está intimamente ligada ao local de implantação, variando significativamente consoante as condicionantes da área de intervenção. Por outro lado, como foi observado, revela-se de extrema importância que haja participação da equipa de projecto na fase de execução, no sentido de auxiliar os trabalhos nos quais a generalidade das empresas não tem experiência construtiva. Devem ainda ter-se em conta as alterações dos fundos e correntes, bem como a fixação da cota máxima da estrutura, ambos factores de extrema importância no seu desempenho geral, sendo que este último é ainda importante por razões de segurança. O impacto biológico parece ser positivo, nomeadamente ao nível da proliferação da flora e fauna marinhas sobre a estrutura e suas imediações, muito embora não se possuam dados de comparação com os materiais utilizados em obras costeiras tradicionais, nomeadamente, rocha e betão,

os quais promovem, igualmente, a fixação de certas espécies. No pior dos casos, os sacos geossintéticos parecem apresentar um impacto insignificante a nível ambiental, podendo ainda ser removidos com facilidade.

As expectativas devem ser colocadas a um nível realista devendo evitar-se, se possível, a mediatização excessiva e exagerada por parte da opinião pública.

2.4.3. ANÁLISE CRÍTICA

Os resultados apresentados na tabela 2.4 servem de comparação entre os principais métodos de previsão de resposta da linha de costa enunciados no subcapítulo 2.2. Convém lembrar que a razão S_a/SZW introduzida por Ranasinghe *et al* (2006) é posterior à construção da maior parte dos recifes.

A largura da zona de surf, SZW, foi determinada com base na expressão apresentada por Black (citada em ASR America, 2008), tal como descrito em 2.2., e é apenas um valor aproximado. Para o coeficiente de empolamento foi assumido, por uma questão de simplificação, o valor médio de 1,1 em todos os casos, e considerando-se os declives, respectivamente, 1/100, 1/50, 1/32 e 1/70 pela ordem apresentada na tabela (valores deduzidos com base em dados disponíveis na bibliografia). Tratam-se, portanto, de aproximações pouco rigorosas feitas com base nos elementos disponíveis e servindo, somente, para dar uma ideia da grandeza dos parâmetros em causa, além de que nem todos os recifes apresentados tiveram como função a protecção costeira.

Tabela 2.4 – Síntese das características funcionais dos principais recifes existentes até à data

Recife	Função	Alimentação	Amplitude média de maré [m]	H_s [m]	L_s/X	S_a/SZW	Considerações	Surf
Cables (Austrália, 1999)	SURF	Aparentemente não	0,55	1,5	0,35	2,2	Não perturbou a costa	Bom desempenho
Narrowneck (Austrália, 2000)	MULTI	Sim, 1,3 milhões m ³	2,09	1,0	1,16	7,8	Parece revelar eficiência de protecção devido à sua dimensão considerável	Bom desempenho
Pratte (EUA, 2001)	SURF	Aparentemente não	1,65	1,25	0,75	2,0	Dimensões muito reduzidas	Mau desempenho. Removido em 2008
Mount Maunganui (Nova Zelândia, 2008)	SURF	?	2,0	1,5	0,32	2,4	Formação variável de saliências	Desempenho contestável
Boscombe (Reino Unido, 2009)	MULTI	?	≈ 2,0	≈ 1,0	N/A	N/A	Realinhamento da crista das ondas em relação à linha de costa. Falta de dados de monitorização.	Desempenho contestável

Como é possível constatar, as razões L_s/X encontram-se, em geral, dentro dos valores recomendados por Black e Andrews (2001), verificando-se situação análoga para o método de Ranasinghe *et al* (2006), com razões superiores a 1,5 e próximas de 2. A exceção, curiosamente, centra-se no recife de Narrowneck (aqui considerado com as suas dimensões de projecto, superiores às reais), com valores para lá dos limites em ambos os casos, o que leva a concluir que a sua eficiência enquanto obra de protecção se deverá, mais do que ao cumprimento dos métodos, à sua grande dimensão, funcionando através da criação de uma zona de abrigo (*sheltered zone*). Os restantes recifes apresentam, aparentemente, razões próximas dos valores desejáveis, sendo que em nenhum deles se verifica erosão. No recife de Mount Maunganui, observa-se mesmo a formação de pequenas saliências temporárias.

Comparativamente à costa Ocidental portuguesa, todos os casos aqui expostos se inserem em locais que apresentam amplitudes de maré inferiores, facto que poderá agravar as previsões para uma estrutura instalada no contexto do presente trabalho. Muito embora os níveis de maré não influam directamente em nenhum dos métodos, é viável considerar que a determinação de SZW estará, em certa medida, dependente do nível de água, nomeadamente na determinação de H_b , embora não pareça prudente extrapolar-se em demasia essa situação.

Estes instrumentos devem, portanto, ser aplicados com precaução. Complementarmente, e sempre que se justifique, dever-se-ão usar alguns dos conhecimentos adoptados para quebra-mares submersos, tal como exposto em 2.2.

3

ÁREA DE INTERVENÇÃO: ESPINHO

3.1. JUSTIFICAÇÃO SUMÁRIA DA OPÇÃO POR ESPINHO

3.1.1. DE ORDEM TÉCNICA GERAL

Espinho é, desde há muitos anos, um local bastante procurado para a prática de surf. A juntar aos surfistas da cidade, a praia é também procurada por praticantes de diferentes regiões do país, contando-se ainda alguns internacionais, sendo considerada uma das boas zonas para a prática de surf no panorama nacional.

As praias do concelho são, no entanto, essencialmente arenosas, o que por vezes coloca algumas restrições aos praticantes da modalidade. Com efeito, a variabilidade dos fundos é apontada como a principal dificuldade local para a prática da modalidade (ver 3.4). Um fundo móvel, estando sujeito a variações devidas às condições de agitação, pode não só diminuir a qualidade das ondas propícias ao surf como, inclusivamente, impossibilitar por completo a prática da modalidade. Nesse sentido, a implantação de um fundo fixo, materializado através de um recife artificial, aumentaria, necessariamente, o número de dias anuais com ondas surfáveis, proporcionando simultaneamente a manutenção ou, ainda, eventual melhoramento do seu nível de qualidade.

A tabela 3.1 apresenta, de forma sintética e estruturada, uma primeira avaliação da viabilidade de construção de um RAM em Espinho. A tabela foi adaptada de uma avaliação análoga levada a cabo para uma das fases de estudo de viabilidade de implantação de um RAM em Kerala, na Índia (Mathew *et al*, 2003), tendo sido acrescentados três pontos (6, 7 e 10, com as respectivas linhas a sombreado), considerados relevantes para o caso em estudo.

Convém referir que esta análise, para além de ser geral e preliminar, não exclui o facto de existirem outros possíveis locais em que a implantação de um recife artificial se pudesse revelar benéfica. Trata-se, isso sim, de averiguar a pertinência e possibilidade de instalação de uma estrutura deste género numa região em particular, sendo que, com ligeiras alterações, o projecto poder-se-á facilmente adaptar a outros locais da costa ocidental do país, podendo-se, nesse sentido, quase classificar como um caso de estudo.

Tabela 3.1 – Análise preliminar da viabilidade técnica do projecto (adaptação, seguindo o proposto em Mathew *et al*, 2003)

1. Erosão é induzida por efeito das ondas?	Sim, agravada pela ocorrência de grande ondulação em condições de maré elevada.
2. Praia experimenta deriva litoral?	Sim. Ainda de notar, a presença de 5 esporões ao longo da costa do concelho, atenuando o transporte longitudinal.
3. Clima de ondas comporta, pelo menos, alturas de 0,8 m e períodos de 8 s?	Sim. O Clima de ondas apresenta H_s variando entre 1,5 m e 3 m ao longo do ano, com período médio de $T=11$ s ($T_p=11,2$ s).
4. Local apresenta micro ou meso marés?	Não. As marés apresentam uma amplitude média de 3.5 m (refira-se que, em condições de preia-mar, ondas mais reduzidas, inevitavelmente, não rebentam sobre a estrutura).
5. Se as marés são elevadas, o realinhamento da crista das ondas por rotação é viável?	Sim, é uma hipótese a considerar.
6. Natureza dos fundos dificulta a prática de surf?	Sim, os fundos móveis colocam frequentemente dificuldades. Por vezes, é mesmo um factor impeditivo da prática da modalidade.
7. A região apresenta uma grande concentração de surfistas?	Sim. As zonas mais procuradas encontram-se por vezes lotadas (<i>crowded</i>), o que gera conflitos entre os praticantes e restrição ao número de surfistas no mar em dias bons.
8. Construções pesadas são indesejadas ou inapropriadas?	Sim, sobretudo dada a elevada densidade de esporões ao longo da faixa costeira do concelho (cerca de 1 por km, aproximadamente), sendo que os dois esporões Norte se contam entre os maiores do país.
9. Alargamento da praia é requerido?	Sim. Apesar da costa se encontrar relativamente estável desde há uns anos, existem situações pontuais de erosão assinalável.
10. Esse alargamento deverá contemplar soluções pesadas?	Não. A erosão que se verifica é localizada, devendo passar por uma alternativa que actue numa área restrita e o mais discretamente possível (ver ponto 8 da tabela). Além de que a construção de mais esporões agravará o problema de erosão a Sul de Espinho, já alarmante, sobretudo na praia do Furadouro.
11. Carácter natural deve ser preservado?	Sim. A praia é uma importante fonte de receitas turísticas para a cidade, fazendo parte da génese histórica e identidade do concelho. Deve, portanto, ser mantida da forma o mais natural e inalterada possível.
12. Acesso directo ao mar é requerido?	Sim.
13. Actividades recreativas (surf, mergulho, pesca desportiva, etc.) são consideradas benéficas?	Sim, sobretudo o surf e a pesca de carácter recreativo.

3.1.2. DE NATUREZA DESPORTIVA E SÓCIO-ECONÓMICA – NOTA BREVE

Não sendo do âmbito do presente trabalho a realização de um estudo de impacto económico e social do projecto em causa, é possível, contudo, mencionar alguns factos relevantes referentes a esta temática.

Nesse sentido, e embora sendo um factor de quantificação difícil e subjectiva, é facilmente perceptível que o surf é um desporto que gera receitas. A indústria da modalidade está em franco crescimento, aumentando a cada ano o número de praticantes. Um praticante de surf é, geralmente, alguém com possibilidades económicas apreciáveis. Tomando-se como indicador, por exemplo, os preços elevados do equipamento requerido, com a agravante de muitos surfistas praticarem mais do que um estilo de surf (sejam os tradicionais *Shortboard*, *Bodyboard*, *Longboard*, entre outros desportos aquáticos), para além de uma série de outros desportos em geral (são, na sua generalidade, indivíduos desportivamente muito activos) tornam-se evidentes as implicações que isso acarreta ao nível dos custos financeiros pessoais. Por outro lado, um número elevado de surfistas amadores de nível mais avançado (excluindo já os profissionais, por razões óbvias) empreendem frequentes viagens ao estrangeiro (Indonésia, Havaí, etc.) de modo a surfar algumas das melhores ondas do mundo. Estes dados são, de resto, em parte suportados pela análise dos inquéritos. Tudo isto leva a crer que o benefício económico trazido a uma região que ofereça boas condições para o surf seja, com toda a certeza, positivo.

Por outro lado, o potencial do surf em Espinho não foi ainda totalmente capitalizado. Com efeito, os surfistas reclamam frequentemente melhores condições para a modalidade (construção de balneários, por exemplo), além de que, mesmo ao nível do circuito desportivo, a cidade se encontra um pouco à margem das grandes competições, exceptuando concursos esporádicos de âmbito regional. Desse modo, uma progressiva assimilação da modalidade por parte da cidade, poderia contribuir significativamente para colocar Espinho no topo dos destinos do surf nacional e internacional, com os respectivos benefícios turísticos e económicos inerentes a essa situação.

3.2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE INTERVENÇÃO

3.2.1. HISTORIAL DE INTERVENÇÃO COSTEIRA

Os dados referentes às condições marítimas em Espinho serão apresentados e discutidos nos pressupostos de pré-dimensionamento (subcapítulo 3.5), pelo que aqui será somente apresentada uma descrição geral da evolução do historial de intervenção na faixa costeira do concelho de Espinho.

O regime de agitação predominante no concelho de Espinho é o típico verificado na costa Noroeste portuguesa. Localizando-se na faixa costeira Caminha – Cabo Mondego, considerada a mais energética e dinâmica da orla marítima nacional, é um concelho bastante sensível aos fenómenos resultantes do avanço progressivo do mar.

De acordo com o referido em *EUrosion* (2006), os fenómenos de erosão verificados na faixa costeira compreendida entre Espinho e Esmoriz remontam a 1869, precedendo ainda a construção das barragens do rio Douro e o porto de Leixões. Segundo dados do Plano Nacional de Água (2001), aí citado, o rio Douro seria responsável por 90% do transporte total anual de cerca de 2×10^6 m³ de sedimentos litorais na costa Norte portuguesa, no ano de 1930. Actualmente, as numerosas barragens existentes ao longo do rio fizeram decair o transporte de sedimentos para um valor estimado em 250000 m³/ano, acrescendo-se ainda as dragagens levadas a cabo no Porto de Leixões, bem como diversas remoções de areia destinadas ao sector da construção (por vezes a um ritmo insustentável). Esta situação veio, necessariamente, agravar as fragilidades de uma zona já à partida sensível.

As primeiras obras de defesa em Espinho remontam a 1909 tendo sido destruídas em 1911, ano até ao qual se estima terem-se perdido cerca de 225 m de praia. Devido à construção de três esporões entre

1911 e 1918 observou-se uma redução do ritmo de avanço do mar. A Sul de Espinho, a praia foi significativamente encurtada entre 1948 e 1977. Contudo, desde a construção de dois grandes esporões (um a Norte e outro a Sul) e de um paredão, a situação da frente marítima da cidade é considerada estável. A área mais afectada localiza-se na frente marítima da freguesia de Paramos (entre os concelhos de Espinho e Esmoriz), e muito embora a zona seja protegida por esporões, o POOC (Plano de Ordenamento da Orla Costeira) prevê o recuo desta área costeira (EUrosion, 2006). Em 1997 procedeu-se a um reforço dos esporões Norte e Sul do concelho, com o objectivo de aumentar a largura de coroamento para cerca de 8 m (Pereira, 2008).



Figura 3.1 – Evolução da situação costeira de 1993 a 2002 na zona preferencial de implantação da obra (adaptado por Pereira, 2008; fonte: Pires, 2006)

No presente ano de 2010, os esporões Norte e Sul foram sujeitos a manutenção, tendo ainda sido reabilitado o pequeno esporão existente sensivelmente a meio da distância compreendida entre os dois, visível na figura 3.1.

Pereira (2008) refere que a avaliação da actual situação da frente urbana da cidade pode ser considerada de risco, se se tiver em conta, não a possibilidade de galgamento, mas sim a estabilização a longo prazo da largura de praia num nível aceitável. Como se pode observar na figura 3.1, a zona

central da marginal compreendida entre os esporões Norte e Sul (delimitada pelo rectângulo amarelo) apresenta uma largura de praia muito reduzida, mesmo preocupante, especialmente tendo em conta o elevado grau de ocupação a que é sujeita durante a época balnear. É ainda observável, na mesma figura, uma zona de erosão (indicada a vermelho) imediatamente a sotamar do pequeno esporão aí existente (junto à praia das Sereias), local que se encontra, inclusivamente, próximo de uma das escolas de surf do concelho. Curiosamente, esta foi a zona apontada como a mais benéfica para a instalação do recife, como se verá no subcapítulo 3.4.

3.2.2. DADOS BATIMÉTRICOS

O último levantamento topo-hidrográfico disponível remonta a 1988, sendo, então, expectável a alteração significativa dos fundos desde esse ano, sobretudo tendo em conta as alterações introduzidas pela maior dimensão dos esporões desde 1997.

A planta batimétrica a adoptar na realização deste trabalho será, assim, a de 1988, apresentada na figura 3.2. A actualização destes dados deverá ser tida em conta numa fase mais avançada de projecto, pois poderá influir na determinação de certas variáveis, como sejam: a distância da estrutura à costa (e subsequente altura da estrutura), bem como o ângulo de orientação do recife face à incidência da ondulação, as quais podem introduzir alterações apreciáveis na solução final.

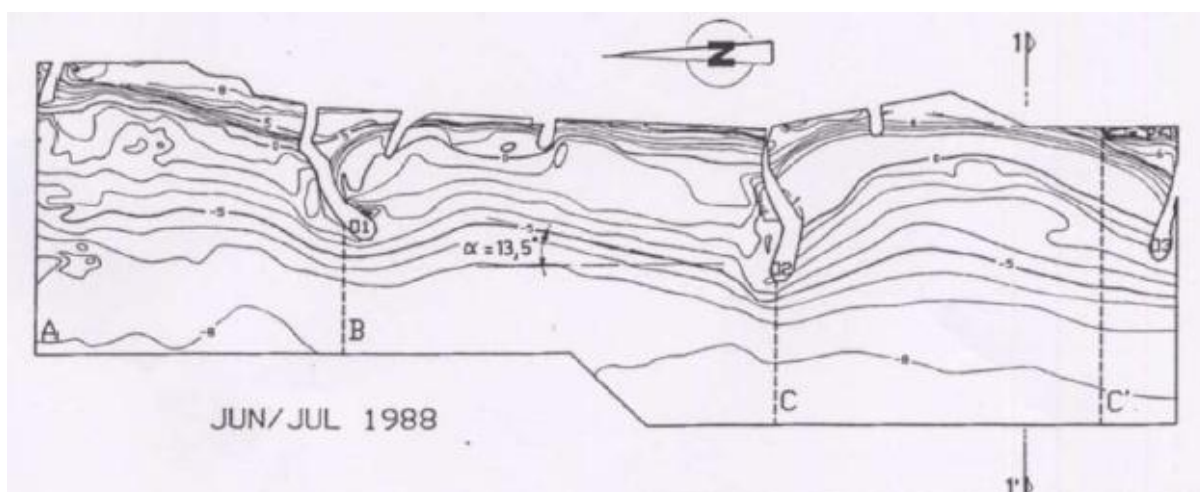


Figura 3.2 – Representação do levantamento batimétrico à data de Julho de 1988, segundo constante em Mota Oliveira, 1991 (Costa, 2009)

3.3. DOCUMENTAÇÃO DE SURFISTAS EM ACÇÃO

Com o objectivo de ilustrar a prática de surf e algumas das condicionantes que lhe são inerentes apresenta-se, seguidamente, uma selecção de imagens de surfistas em competição, obtidas por altura do *ISA World Surfing Games 2008*, realizado na Costa da Caparica entre 11 e 19 de Outubro desse mesmo ano (figuras 3.3 a 3.8).

Na figura 3.3 é visível a formação de uma onda “cavada” com execução de uma “direita” (sentido de rebentação da direita para a esquerda, da perspectiva de quem se encontra na praia). Devido ao pouco espaço existente no interior da onda é impossível ao surfista executar um “tubo”. Já na figura 3.4 é

ilustrada a situação em que o surf é praticado em regime de rebentação progressiva (igualmente “surfável”) em que a onda não chega a ter “força” para formar o espaço típico dos “tubos”. O surfista encontra-se numa inversão de trajetória.



Figura 3.3 – Praticante “surfando” uma onda “cavada” (regime de rebentação mergulhante)



Figura 3.4 – Praticante “surfando” uma onda “mole” (regime de rebentação progressiva)

O fenómeno de *close-out* (ângulo de rebentação próximo do intervalo de 0° a $13, 14^\circ$) aparece ilustrado na figura 3.5. A ocorrência de uma secção rebentando de forma quase simultânea impede o surfista de prosseguir a sua trajetória, interrompendo a linha de rebentação (*breaker line*). O praticante tenta resolver a secção através da execução de uma manobra aérea. Em 3.6 é exemplificada a prática de surf com uma altura de onda reduzida, mas ainda assim suficiente para o surfista adquirir velocidade. Já na figura 3.7 é visível a cabeça de um esporão, ao fundo, ilustrando a situação mencionada em 2.3.5.



Figura 3.5 – Dificuldade de execução devido à ocorrência de uma secção em *close-out*



Figura 3.6 – Surf em condições de altura de ondulação reduzida



Figura 3.7 – Praticante “surfando” a sotamar da cabeça de um esporão.

Finalmente, na figura 3.8, é observada a fase de “largada” (*take-off*). À esquerda, um surfista procura posição para “apanhar” a onda, ao passo que o surfista da direita se encontra já no início da sua *surf ride*, em plena “largada”.



Figura 3.8 – Surfista (à esquerda) posicionando-se para “apanhar” uma onda, e outro (à direita) em plena “largada” (surfinside.com)

3.4. TRATAMENTO E ANÁLISE DE INQUÉRITOS

3.4.1. ÂMBITO E ESTRUTURA DO INQUÉRITO

O inquérito apresentado aos surfistas, cuja versão integral e respectivas respostas podem ser consultados no Anexo A2., foi estruturado em 4 partes, tal como se descreve a seguir:

- **Parte 1 – Caracterização do surfista:** pretendeu-se, neste primeiro ponto, caracterizar o praticante, de forma a identificar directamente a idade, género, altura, peso, nível de experiência, estilo de surf, bem como período do ano e frequência com que pratica a modalidade, dentro e fora de Espinho;
- **Parte 2 – Prática de surf:** com o propósito de identificação das exigências operacionais, questionou-se o praticante acerca do seu próprio estilo de surf, preferências pessoais relativas às características de onda, bem como dificuldades que sente para desenvolver a modalidade em Espinho;
- **Parte 3 – Equipamento:** esta secção teve como objectivo, essencialmente, a validação e aferição do grau de coerência das respostas dadas nos pontos anteriores, através da confrontação daquelas com o respectivo tipo de equipamento usado. Não é, portanto, uma secção essencial na análise, pelo que não será tratada estatisticamente neste trabalho, sendo, ainda assim, apresentada em anexo, juntamente com as restantes respostas;
- **Parte 4 – Recife:** na última parte do inquérito, propunha-se a identificação de problemas e apresentação de possíveis soluções relativamente à protecção costeira no concelho de Espinho, bem como a indicação de locais já propícios ao surf e, naturalmente, zonas preferenciais de implantação do recife.

3.4.2. CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA INQUIRIDA

Os inquéritos foram, na sua maioria, realizados de forma discriminada, contando com o auxílio de alguns praticantes na selecção dos restantes indivíduos, considerados aptos a responder de forma completa ao questionário, em virtude do seu grau de conhecimento aprofundado do contexto local da modalidade.

Na tabela 3.2 apresenta-se a caracterização geral dos surfistas inquiridos – descrição da amostra. Convém referir que todos os indivíduos são do sexo masculino. Interessa esclarecer, ainda, que a classificação “Regular” e “Goofy” está relacionada com qual dos pés serve de apoio ao surfista (pé de trás), sendo que um *Regular* utiliza o pé direito, e um *Goofy*, o esquerdo. Tratando-se de um *bodyboarder*, que se encontra parcialmente estendido sobre a prancha, esta classificação não se aplica. Outro aspecto de relevo prende-se com o critério aqui utilizado para a definição do nível de experiência do praticante, aqui categorizado em 4 grupos: iniciado, amador, amador-avançado e profissional. Assim, um iniciado será o surfista que se encontra num nível de aprendizagem muito elementar, ainda incapaz de realizar grande parte das manobras. O grau de amador implica já uma certa desenvoltura, sendo um surfista capaz de algumas manobras de transição e surfar ondas de altura intermédia (até 1-1,5 metros) mas, geralmente, não muito rápidas. A categoria amador-avançado reporta-se a um praticante que apresente uma desenvoltura apreciável na execução das suas manobras (algumas de dificuldade superior) e já capaz de surfar ondas intermédias e rápidas, de altura assinalável (1,5 a 2,5 metros, em média). Finalmente, um profissional é o tipo de atleta com grande desenvoltura, capaz de quase todo o tipo de manobras e de surfar ondas rápidas que podem ultrapassar os 3 metros. A participação regular em competições nacionais e, eventualmente, internacionais, é também um factor diferenciador desta última categoria de surfistas.

Como é possível constatar, não foi possível obter nenhuma resposta ao inquérito por parte de um surfista iniciado, facto que se julga não pôr em causa a robustez dos resultados. Com efeito, é algo duvidoso que o nível de experiência associado a esta categoria permita obter respostas que acrescentem valor à amostra. De um modo geral, estes surfistas iniciam a prática de surf em zonas muito chegadas à costa, geralmente em aulas dadas pelas escolas, não sendo, à partida, um grupo-alvo a considerar na utilização de um recife artificial. Por outro lado, o seu conhecimento das condições locais do surf é muito reduzido, o que não serve os propósitos deste inquérito.

Na tabela 3.3 é dada a quantificação do número de indivíduos inquiridos por nível de experiência e estilo de surf praticado. O número de *bodyboarders* inquiridos (5 em 18) vem introduzir alguma diversidade na amostra, tratando-se também de um estilo de surf muito praticado no concelho. A classificação *Regular* ou *Goofy*, já mencionada, reporta-se ao *Shortboard* (o surf tradicional, de prancha média), bem como ao *Longboard* (prancha mais comprida), embora nenhum dos inquiridos tenha respondido por este último estilo, o qual, apesar de se tratar de um estilo de surf praticado por alguns dos surfistas questionados, é tido, essencialmente, como um complemento ao *bodyboard* ou ao *shortboard*, havendo mesmo quem pratique as três variantes (ver resposta à parte 3 do inquérito, no anexo A2.).

Tabela 3.2 – Descrição da amostra obtida no inquérito

Nº Referência	Idade	Anos Experiência	Nível Experiência	Peso [kg]	Altura [m]	Regular ou Goofy
1	24	6	Amador-Avançado	68	1,66	R
2	29	19	Amador-Avançado	60	1,67	Bodyboarder
3	31	19	Profissional	80	1,78	Bodyboarder
4	31	4	Amador	53	1,64	Bodyboarder
5	29	6	Amador	87	1,83	R
6	24	12	Amador-Avançado	60	1,70	Bodyboarder
7	31	-	Amador	76	1,81	G
8	22	-	Amador	76	1,80	R
9	26	5	Amador	80	1,80	G
10	37	23	Amador-Avançado	78	1,76	G
11	26	-	Amador-Avançado	85	1,84	R
12	24	8	Amador	66	1,71	R
13	29	-	Amador-Avançado	120	1,92	Bodyboarder
14	31	-	Profissional	73	1,76	G
15	24	5	Amador	70	1,70	R
16	44	35	Amador-Avançado	69	1,70	G
17	21	-	Profissional	63	1,78	G
18	27	10	Amador	70	1,80	R

Tabela 3.3 – Quantificação da amostra obtida por nível de experiência e estilo

Nível de Experiência	Regular	Goofy	Bodyboarder	Total
Iniciados	0	0	0	0
Amadores	5	2	1	8
Amadores-Avançados	2	2	3	7
Profissionais	0	2	1	3
Total	7	6	5	18

Tendo em conta o exposto considera-se, assim, que esta amostra, tanto em relação ao número de indivíduos que a compõem como ao espectro que abrange (três níveis de aptidão e dois estilos), se adequa bem aos propósitos deste trabalho. Com efeito, num estudo de carácter preliminar como este,

não parece oportuno realizar um inquérito a grande escala. A maior parte das exigências relativas ao surf para uma obra deste género enquadram-se, geralmente, dentro de valores mais ou menos definidos, considerando-se usualmente um dimensionamento para o nível de Amador ou Amador-Avançado, sendo que as exigências inerentes a essas categorias se encontram já bem documentadas na literatura.

Não obstante, e caso o projecto venha a ter repercussões futuras, aconselha-se o alargamento da amostra inquirida, de modo a recolher opiniões do maior número possível de elementos da comunidade de surf que escolhe Espinho para praticar a modalidade. A resposta a um inquérito colocado nos *sites* das duas escolas de surf existentes no concelho pode ser, por exemplo, um meio eficaz de chegar a um maior número de praticantes, sendo que os responsáveis das escolas demonstraram já disponibilidade para colaborar, uma vez que se trata de uma matéria que implica directamente a comunidade, e pela qual a grande maioria demonstra o maior interesse. Por outro lado, a elaboração de um novo inquérito, adaptado a uma fase mais avançada do projecto, deverá ser tida em conta para a obtenção de dados mais rigorosos. Ainda a ponderar será o envolvimento da comunidade de surf local na análise de alternativas finais. Contudo, e tendo em conta as experiências anteriores (ver ponto 2.4.), deve ter-se sempre o cuidado de esclarecer os surfistas em relação à eficiência real da obra em questão. Tratando-se de uma matéria recente e que entusiasma de forma intensa toda a comunidade, não é raro encontrarem-se ideias pré-concebidas que se afastam da realidade do que actualmente é possível oferecer em termos de projecto, nomeadamente em relação ao tipo de ondas criadas (altura, tipo e ângulo de rebentação) e condições de funcionamento do recife (dependentes dos níveis de maré e características globais de agitação).

3.4.3. EXIGÊNCIAS OPERACIONAIS

3.4.3.1. Condicionantes Locais à Prática de Surf

A tabela 3.4 apresenta, de forma sintetizada, os factores que os surfistas consideram como os mais impeditivos para a obtenção de uma boa onda de surf em Espinho (referente à pergunta da alínea f) da parte 2 do inquérito).

Tabela 3.4 – Principais entraves mencionados relativamente às condições “óptimas” para surf em Espinho

Nível de Aptidão	Condições marítimas	Correntes	Fundos	Ventos	Crowded	Outros
Amadores	25,0%	25,0%	50,0%	12,5%	25,0%	0,0%
Amadores-Avançados	14,3%	0,0%	57,1%	28,6%	14,3%	14,3%
Profissionais	0,0%	0,0%	66,7%	0,0%	0,0%	33,3%
Total	16,7%	11,1%	55,6%	16,7%	16,7%	11,1%

Como se pode verificar, a natureza dos fundos (no caso móveis) é apontada, de forma destacada, como a principal causa impeditiva da formação de boas ondas em Espinho, sendo que de entre a totalidade dos surfistas, 55,6% a indicaram nas suas respostas (alguns só referiram mesmo essa). Em segundo lugar aparecem os ventos, embora esta condicionante não possa ser controlada directamente através do recife. Quando muito, o estudo dos ventos locais pode interferir no dimensionamento da estrutura, possivelmente ao nível do ângulo e tipo de rebentação. A condição mais favorável de vento para o surf

é *light offshore* (no caso, um vento ligeiro de leste), pois retarda ligeiramente a rebentação da onda, conferindo-lhe boas características. Este aspecto, contudo, está para além do âmbito deste trabalho, devendo merecer atenção numa fase posterior. Seguidamente aparecem as condições marítimas (maré e clima de ondas), as quais serão consideradas no cálculo dentro dos limites possíveis. Uma maré elevada pode causar, por exemplo, dificuldades a surfistas mais iniciados, e um *set* de ondas deve apresentar alguma regularidade e qualidade para rebentar convenientemente no recife. Interessa mais uma vez sublinhar que, um recife, de modo a ser eficiente, deve estar instalado num local com ocorrência frequente de ondulação, se possível, de altura razoável. O papel da estrutura está em aproveitar a agitação existente e torná-la apropriada para a prática de surf. Interessa referir ainda que alguns dos surfistas que mencionaram este aspecto (condições marítimas), possivelmente se refeririam igualmente aos fundos, pois quando se menciona, por exemplo, a fraca qualidade de ondas, este factor está intimamente ligado à natureza dos fundos, os quais não suportam a rebentação de uma onda de qualidade. No apuramento dos dados consideraram-se, somente, as respostas explicitamente mencionadas nos inquéritos, fruto de algumas das questões não serem de escolha múltipla, mas sim de resposta livre. Para aceder à síntese das respostas ao inquérito devem consultar-se as tabelas constantes nos anexos.

Outro aspecto que surge indicado com a mesma frequência do anterior, sobretudo entre amadores (25%), refere-se à ocupação dos locais de surf por demasiados praticantes (*crowded*) sendo que, muitas vezes, se gera mesmo um conflito de interesses na utilização do local, não só entre surfistas, mas também entre estes, banhistas e ainda pescadores. Um recife iria, necessariamente, contribuir para a atenuação deste problema, criando uma redistribuição dos surfistas por mais locais, alternando a sua ocupação consoante as condições mais ou menos favoráveis para cada uma das actividades mencionadas. A gestão de ocupação do local deve ser feita com bom senso, tendo em conta que, quando as condições para o surf são favoráveis, parece evidente que se dê prioridade aos surfistas, além de que a pesca com rede não deverá, obviamente, ocorrer junto ao recife. As redes são, inclusivamente, um problema de segurança com que se deparam alguns dos surfistas locais que pretendem surfar junto ao esporão da praia dos pescadores. Para finalizar este ponto (grande ocupação das zonas de surf), refira-se que a queixa relativamente a esta situação vai diminuindo com o acréscimo de aptidões do praticante, passando de 24,3% em amadores-avanzados a 0% em profissionais. Tal facto é facilmente compreensível tendo em conta que a ocupação do espaço pelos surfistas é, grosso modo, ditada pelo nível de experiência dos mesmos. Com efeito, se o mar está em boas condições em determinada zona, por força das diferenças técnicas do surf praticado, os surfistas mais evoluídos acabarão por se impor naquela área, ficando os restantes, literalmente, sem espaço para surfar (consultar, a título de exemplo, a resposta do inquérito 5, à questão da alínea f) da parte 2).

As correntes não serão alvo de atenção prioritária neste trabalho, excepto na implicação da sua dinâmica relativamente à protecção costeira. A existência de canais (correntes que permitam aos praticantes deslocarem-se na vizinhança do local onde surfam e, conseqüentemente, posicionarem-se de forma a “apanharem” a onda) deve ser um factor a considerar num trabalho posterior. Já a coluna “Outros” reporta-se a duas referências feitas por dois dos surfistas. Uma, prende-se com a inexistência de condições logísticas na praia (balneários) e a outra, de natureza operacional, com a inexistência de junções (um cruzamento de ondas que permite a execução de manobras aéreas aos *bodyboarders* mais avançados). Quanto a esta última não se vislumbram grandes soluções nesta fase de estudo. Por outro lado, uma possível solução de forma a aumentar a diversidade de manobras e tipos de secções passaria, eventualmente, por criar uma linha de rebentação (*breaker line*) com diferentes ângulos de rebentação (tal como proposto por Aguiar *et al* (2009), num estudo levado a cabo para um recife na praia de Macumba, Rio de Janeiro). Quanto à primeira, o sucesso do recife poderia, isso sim, possibilitar um incentivo cada vez maior do poder governativo relativamente ao surf no concelho (de

modo a capitalizar os benefícios de uma modalidade que se encontra em franco crescimento no país), podendo passar, inclusivamente, pela criação de uma *Surf House*, proporcionando maiores apoios à comunidade.

Para finalizar, convém notar que mais de metade dos surfistas inquiridos praticam a modalidade, se possível, durante todo o ano e com frequência semanal (ver anexo A2), alguns intercalando entre Espinho e outros locais consoante a altura do ano (embora este facto esteja também dependente da proximidade do surfista ao local). Sendo um factor que constitui uma mais-valia no desempenho do recife, o dimensionamento da estrutura contemplando alturas de onda superiores a 1,5 metros será, então, uma consequência directa das respostas obtidas, não sendo assim necessário um tratamento estatístico.

3.4.3.2. Características Preferenciais para o Surf (tipo de *surf ride*)

Na tabela 3.5 encontram-se indicados os resultados obtidos para o sentido, tipo de rebentação e altura da onda, relativa às questões das alíneas a), b) e c) da parte 2 do inquérito.

Tabela 3.5 – Preferências dos praticantes relacionadas com as características de ondulação

Nível de Aptidão	Sentido de Rebentação			Tipo de Rebentação		Altura de Onda		
	Esquerdas	Direitas	Ambas	Moles	Cavadas	≤ 1	1 < H ≤ 2	> 2
Amadores	50,0%	50,0%	0,0%	50,0%	50,0%	25,0%	75,0%	0,0%
Amadores-Avançados	57,1%	28,6%	14,3%	0,0%	100,0%	0,0%	85,7%	14,3%
Profissionais	33,3%	0,0%	66,7%	0,0%	100,0%	0,0%	33,3%	66,7%
Total	50,0%	33,3%	16,7%	22,2%	77,8%	11,1%	72,2%	16,7%

Como é possível verificar, quanto ao sentido de rebentação, a generalidade dos surfistas prefere esquerdas, sobretudo na classe Amadores-Avançados, tendência que se esbate na classe dos Amadores, encontrando-se repartida de forma idêntica. Já os Profissionais, na sua generalidade, não revelam grande preferência, apreciando, de igual forma, esquerdas e direitas. Assim sendo, como primeira opção, dever-se-á privilegiar uma solução que compreenda ambos os sentidos de rebentação, servindo as diferentes necessidades dos praticantes (um surfista, mesmo preferindo um dos sentidos, não terá problemas em surfar o outro). Alternativamente, caso seja mais viável optar-se por um dos dois sentidos de rebentação, dar-se-á prioridade, aí sim, às esquerdas. Esta preferência terá que ver, possivelmente, com as direitas já existentes em Espinho junto à cabeça dos esporões.

No que toca ao tipo de rebentação, a totalidade dos praticantes Amadores-Avançados e Profissionais (100% na tabela) prefere ondas cavadas. Metade dos amadores, compreensivelmente, revela já uma preferência por ondas moles, mais fáceis de surfar. No recife, dependendo das condições de agitação e maré, rebentarão os dois tipos de onda, parecendo, no entanto, não restarem dúvidas quanto à opção por ondas cavadas (mais tubulares) para o nível de dimensionamento óptimo da estrutura.

Relativamente à altura das ondas, interessa desde já referir que este aspecto comporta alguma subjectividade em termos de avaliação. Com efeito, muitos surfistas encaram a altura da onda mais como um conceito associada à natureza do surf que praticam, do que propriamente como uma unidade

de medição. Por exemplo, um surfista que “surfe” ondas de maior altura pode referir que prefere ondas de 3 ou 4 metros; um amador, que prefere ondas de 1 m, etc.. É, em todo o caso, notória a preferência por ondas entre 1,5 e 2 metros (ver anexos para informação mais detalhada), excepção feita aos profissionais que, compreensivelmente, preferem ondas superiores a 2 metros (variando dos 2,5 aos 3,5 m). Assim, parece natural, tendo em conta igualmente o tipo de agitação (ver ponto 3.5.) que a onda a rebentar sobre o recife seja próxima dos 2 metros (altura ao largo, H_o , de 1,5 m aproximadamente).

Outro aspecto importante, não tratado estatisticamente devido à natureza livre da questão correspondente (apresentando, dessa forma, uma grande dispersão de respostas) prende-se com a velocidade da onda. Como se pode verificar pelas respostas em anexo, a generalidade dos surfistas revela uma preferência por ondas intermédias a rápidas, destacando-se ainda um número inferior de respostas apontando ondas lentas. Esta variável está essencialmente dependente do ângulo do recife (bem como do ângulo de incidência da agitação, variável no contexto de estudo) o qual se encontra localmente condicionado, pelo que o mais acertado nesta fase será apontar para um nível de velocidade intermédio a rápido.

Para finalizar esta secção convém referir que as respostas às alíneas d) e e) da parte 2, contemplando os tipos de manobras praticadas, não se revela de grande importância numa fase preliminar de concepção, uma vez que os critérios gerais de dimensionamento se encontram descritos, essencialmente, em função das variáveis apresentadas na tabela 3.5. Numa etapa mais avançada de projecto estes dados poderão, aí sim, servir o propósito de identificação pormenorizada de determinadas exigências específicas.

3.4.3.3. Identificação de Locais

Na tabela 3.6 podem observar-se os resultados obtidos nas alíneas a), b) e c) da parte 4 do inquérito. De modo a facilitar a interpretação dos esquemas desenhados pelos surfistas, procedeu-se à divisão do mapa em 15 zonas, identificadas numericamente no mapa presente nos anexos.

Como se pode constatar, no que toca aos locais já favoráveis à prática de surf em Espinho, a esmagadora maioria dos inquiridos (94,4%) identifica a zona 3 como sendo a mais favorável, seguida da zona 6 (66,7%) e 12 (33,3%), sendo que todas as classes de surfistas são maioritariamente concordantes em relação a cada um dos locais referidos. Não será coincidência o facto de os três locais mais apontados coincidirem com áreas a sotamar de esporões. Fica assim evidenciado, pelo menos num âmbito local, que os esporões (encurvados na zona 3 e 6) e rectos (na zona 12) revelaram surtir um efeito benéfico na criação de condições propícias ao surf. Os locais encontram-se assinalados, por ordem de preferência, no mapa da figura 3.9 (no final do subcapítulo).

No que toca ao posicionamento do recife, a maioria destacada dos surfistas considera que a melhor solução passará por construir a estrutura no local 4, com 83,3% de referências, sendo que o local 7 aparece em segundo lugar, consideravelmente mais abaixo, com 27,8% de indicações. Também aqui, na sua maioria, as opiniões por classe são concordantes. Na tabela 3.7 apresenta-se o número de menções aos tipos de estruturas indicadas para os locais preferenciais. A razão de, nesta fase, se ter privilegiado o local em detrimento do tipo de estrutura, na identificação de soluções apontadas, prende-se com o facto de algumas das estruturas pontualmente mencionadas se encontraram de forma quase exclusiva em zonas onde existem já condições favoráveis à modalidade, como é o caso de 3 e 9. No entanto, esta condição não põe de todo em causa a localização nas zonas mais mencionadas (4 e 7), as quais se destacam de forma expressiva (ver anexos).

Tabela 3.6 – Identificação de locais já favoráveis ao surf / posicionamento preferencial para o recife

Zona	Locais Já Propícios ao Surf				Posicionamento do Recife			
	Amadores	Amadores-Avançados	Profissionais		Amadores	Amadores-Avançados	Profissionais	
1	12,5%	14,3%	0,0%	11,1%	12,5%	28,6%	33,3%	22,2%
2	25,0%	57,1%	66,7%	44,4%	25,0%	14,3%	33,3%	22,2%
3	87,5%	100,0%	100,0%	94,4%	25,0%	28,6%	0,0%	22,2%
4	37,5%	14,3%	33,3%	27,8%	87,5%	85,7%	66,7%	83,3%
5	12,5%	28,6%	33,3%	22,2%	0,0%	28,6%	0,0%	11,1%
6	62,5%	85,7%	33,3%	66,7%	12,5%	14,3%	0,0%	11,1%
7	12,5%	0,0%	0,0%	5,6%	0,0%	57,1%	33,3%	27,8%
8	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9	12,5%	57,1%	0,0%	27,8%	25,0%	14,3%	33,3%	22,2%
10	25,0%	0,0%	0,0%	11,1%	12,5%	0,0%	33,3%	11,1%
11	25,0%	14,3%	0,0%	16,7%	25,0%	14,3%	0,0%	16,7%
12	37,5%	42,9%	0,0%	33,3%	12,5%	0,0%	0,0%	5,6%
13	12,5%	14,3%	0,0%	11,1%	12,5%	14,3%	33,3%	16,7%
14	25,0%	0,0%	0,0%	11,1%	12,5%	0,0%	0,0%	5,6%
15	0,0%	14,3%	0,0%	5,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabela 3.7 – Tipo de estrutura preferencial nos locais mais indicados

Local	Recife_delta	Barra_esquerda	Barra_direita
4	14	1	1
7	5	0	0
1	4	0	0
2	2	2	0
3	0	0	4
9	0	0	4

A esmagadora maioria dos inquiridos considera, então, que a implantação do recife passará pela construção de uma estrutura que permita a criação de esquerdas e direitas (delta) na zona 4, sensivelmente a meio da distância entre os dois esporões Norte do concelho. Interessa referir que, dadas as condições mais ou menos homogêneas de incidência de agitação em Espinho, e tal como se

verifica pela tabela, existe mais do que um local propício à instalação do mesmo tipo de estrutura. Como seria de esperar, os deltas são preferidos nas zonas entre esporões, bem como, por exemplo, recifes com ondas a rebentar para a direita, a sotamar dos mesmos. A indicação, em planta geográfica, dos locais preferenciais, apresenta-se na figura 3.10 (no final do subcapítulo).

3.4.4. CONCLUSÕES

Tendo em conta os resultados obtidos no tratamento de dados do inquérito, e no sentido de privilegiar a opinião dos surfistas, as seguintes conclusões podem ser retiradas:

- construção de um recife artificial que permita, em primeiro lugar, manter os fundos fixos e, igualmente, contribuir para a dispersão do número de surfistas por mais locais;
- criação de esquerdas e direitas ou, alternativamente, de esquerdas;
- dimensionamento preferencial para uma onda ao largo de 1,5 metros de altura, considerando alturas de onda superiores para os meses frios;
- privilegiar as ondas tubulares;
- privilegiar ondas de velocidade intermédia a rápida;
- construção de uma estrutura em delta, a meia distância dos dois esporões Norte.

Considerando que, por princípio, não se deve interferir em zonas já propícias à modalidade, além de que uma estrutura em delta será, à partida, mais eficiente em termos de defesa da costa (até porque mais estudada), a solução apontada pela maioria dos surfistas parece ser, à primeira vista, a mais acertada, até por se encontrar numa zona crítica de erosão (junto à praia das Sereias – ligeiramente mais a Sul da zona 4), como se pôde verificar na figura 3.1. Tendo em conta os pontos apresentados acima, o recife será dimensionado preferencialmente para o nível de Amador-Avançado (o mais citado e adequado para este tipo de estrutura) muito embora, consoante as condições de maré e agitação verificadas, possa abranger os restantes níveis de aptidão.

Para finalizar, e relativamente ao método de questionamento adoptado em certas partes do inquérito, uma fragilidade que pode ser apontada prende-se com a natureza livre de algumas questões apresentadas, de que é exemplo a já referida alínea c) da parte 2. Embora se pretendesse uma resposta completa da parte dos inquiridos, não limitando o âmbito da pergunta, verificou-se que o regime de perguntas directas e curtas, como por exemplo as alíneas a) e b) que a precedem, revela-se mais eficiente no que toca à obtenção de dados efectivos.



Figura 3.9 – Indicação dos locais de qualidade actualmente existentes para a prática de surf



Figura 3.10 – Indicação dos locais preferenciais para a instalação do recife

3.5. PRESSUPOSTOS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO

A fixação das condições de cálculo para uma estrutura deste tipo está longe de ser directa, uma vez que é necessário quantificar níveis diferenciados de dimensionamento: um referente à concepção de uma obra de protecção costeira, e outro relativo à prática do surf. Há ainda que ter em conta, como já foi referido, que um RAM dificilmente poderá funcionar como uma obra de defesa face a agitação em condições severas, mas que pretende, isso sim, ser uma estrutura de manutenção das características da praia em níveis aceitáveis ao longo do tempo. Posto isto, a exclusão de valores extremos parece uma opção lógica. Interessa, então, que na presença de um dado nível de maré (que por simplificação será igual para ambas as condições), correspondente ao nível médio das oscilações médias para preia-mar e baixa-mar, a estrutura satisfaça os requisitos de funcionalidade para ambas as condições, dentro da gama de valores de cálculo definidos.

3.5.1. DISCUSSÃO E FIXAÇÃO DE PRESSUPOSTOS DE CÁLCULO

3.5.1.1. Níveis de Maré

Parâmetro fulcral em ambas as condições de dimensionamento, devido à influência que exerce relativamente à altura de rebentação das ondas, o nível de maré a considerar no cálculo seria, como primeira aproximação, o correspondente ao nível médio da amplitude entre marés vivas médias para preia-mar e baixa-mar. Convém salientar que esta análise não considera o efeito das marés meteorológicas. Os níveis de maré registados na costa Oeste portuguesa apresentam-se na tabela 3.8, referidos ao zero hidrográfico de Leixões.

Tabela 3.8 - Níveis de maré ocorrentes na costa Atlântica portuguesa referidos ao ZH de Leixões (1,77 m abaixo do NMA) de acordo com dados do IHRH, 1999 (Pereira, 2008)

MARÉS		COTAS [m]
Preia-mar	Máxima Excepcional	+ 4,04
	Viva Média	+ 3,42
	Média	+ 2,96
	Morta Mínima	+2,00
Baixa-mar	Máxima	+ 2,00
	Média	+ 0,90
	Viva Média	+ 0,50
	Viva Mínima Excepcional	- 0,20

No entanto, a amplitude adoptada no projecto para reabilitação dos esporões de Espinho, em 1999 (citado em Pereira, 2008), bem como a maré média referida em Coelho (2005) para o porto de Leixões, foi de 3,5 m, a qual, embora agrave ligeiramente o valor da maré viva média de preia-mar indicado na tabela, parece um nível aceitável. Por comparação dos níveis de maré ocorridos e expectáveis em Leixões, num estudo levado a cabo por Almeida (2008), é possível verificar que, muito embora esta ascenda com alguma frequência a valores ligeiramente superiores a +4,0 m (ZH), raramente desce dos +0,5 m (ZH). Uma vez que a frequência de ocorrência de níveis de maré

superiores a 3,4 m se verifica muito raramente (o mês com maior registo é Fevereiro, com 4,1% de ocorrências, segundo dados do IHRH, 1999, citados em Pereira, 2008), não parece apropriado majorar-se o nível máximo muito além deste valor. Assim, os valores considerados para o pré-dimensionamento são os apresentados na tabela 3.9.

Tabela 3.9 – Níveis de maré adoptados no dimensionamento preliminar

N_{pmv} (nível médio de preia-mar de águas vivas adoptado)	+ 3,5 m (ZH)
N_{bmV} (nível médio de baixa-mar de águas vivas adoptado)	+ 0,5 m (ZH)
N_{dim} (nível médio de dimensionamento)	+ 2,0 m (ZH)

3.5.1.2. Isóbata de Referência

A isóbata correspondente à linha de costa adoptada no cálculo, tendo em conta o que foi já exposto, bem como o ponto anterior, será de $Z_{LC} = + 2,0$ m (ZH).

3.5.1.3. Alturas de onda

(1) Protecção Costeira

Se por um lado seria tentador assumir uma altura de onda incidente elevada, pois esta iria rebentar sobre a estrutura para níveis progressivamente mais baixos de cota de coroamento (muito embora descontando o efeito da formação de ondas a sotamar da estrutura, cuja análise no domínio espectral de frequências sai fora do âmbito deste trabalho) é, no entanto, aconselhável, e tendo em conta um limite hipotético razoável do lado da segurança, não considerar uma altura de onda muito elevada, mas também não demasiado reduzida, pelo que uma análise das alturas de onda significativas parece ser já um bom indicador desta condição.

Analizando os dados apresentados em Ramos (2009), a disparidade do número de registos (quando estes existem), anuais e sazonais, de alturas de onda significativas ao largo de Leixões, no período de 1993-2003, coloca alguma dificuldade na fixação rigorosa de H_s . Assim sendo, adoptou-se uma análise de um período mais alargado, correspondente à frequência bi-anual, obtendo-se uma série mais homogénea do que quando considerando somente o registo anual. A análise desses dados revela uma predominância de ocorrência de H_s na classe de 2-3 m, excepção feita a 93-94, que registou maior frequência na classe de 3-4 m, e 97-98, com predominância na classe 4-5 m. Assim, optou-se por fixar a altura de onda significativa no valor superior da classe com maior frequência de registos, correspondente a 3 m.

Outro factor com peso na selecção da altura de onda incidente é, no caso de uma estrutura em delta e de acordo com a formulação de Ranasinghe *et al* (2006), a largura da zona de surf, SZW (aumentando com H_b), a qual, assumindo valores muito elevados, levará a que a estrutura se afaste exageradamente da costa, o que também não é aconselhável.

(2) Surf

No que respeita ao surf, o intervalo de dados a analisar deverá ser mais limitado, uma vez que, idealmente, se trata de estudar a ocorrência da onda mais frequente, de modo a maximizar o número de dias surfáveis por ano. Tendo em conta que a maioria dos surfistas vai para o mar durante todo o ano, interessa limitar a análise à ocorrência de ondas mensais. A este propósito convém referir que Hutt *et al* (1997) sugerem a utilização da altura de onda correspondente à média do décimo superior, $H_{1/10}$, uma vez que, chegando em grupos, são geralmente as ondas maiores as escolhidas pelos surfistas. No entanto, e tendo em conta o clima de ondas característico da costa portuguesa, bem como a consulta dos poucos casos divulgados de concepção de recifes artificiais, a altura de onda significativa parece ser já um indicador apropriado a ter em conta no dimensionamento. Não sendo excessivamente elevada, nem tampouco reduzida, constitui uma boa aproximação ao regime surfável mais frequente. Por outro lado, analisando novamente os dados apresentados em Ramos (2009) constata-se que, em termos médios, os meses frios (Outubro a Abril) registam variações entre os 3 e os 4,5 metros, aproximadamente, sendo que este intervalo decresce para os meses quentes (Março a Setembro), registando valores aproximadamente compreendidos entre 1 e 2 m, com uma altura média aproximada de 1,5 m. Há, ainda, que considerar as alturas de onda experimentadas com maior frequência pelos surfistas que reponderam ao inquérito, variando em média de 1,5 a 2,5 metros, sendo que os fundos de Espinho conseguem suportar ondas consistentes até 1,5 m (H_b), quando se verificam condições favoráveis.

Tendo em conta o exposto, conclui-se que raramente no decorrer do ano o valor da onda significativa ao largo é inferior a 1,5 m. Assim, e considerando que durante o Inverno também se reúnem condições para “surfear”, uma altura de onda ao largo de 1,5 m será o valor médio a ter em conta no projecto, esperando-se ainda que o recife suporte ondas entre 1 e 3 metros, de forma mais ou menos consistente. Convém referir que a altura de onda que rebenta sobre a estrutura, H_b , pode ascender a valores médios de 2,5 m, consoante as condições marítimas e configuração estrutural do recife, como se evidenciará em 4.3.

3.5.1.4. Períodos de Onda

A frequência de períodos de pico revela uma estabilidade fiável ao longo do tempo, na classe dos 9 aos 13 segundos (Ramos, 2009), o que é coerente com a média calculada por Pereira (2008) para a praia de Espinho, onde o valor obtido foi de $T_p = 11,2$ s. O período médio adoptado corresponderá, então, ao valor médio do referido intervalo, ou seja, 11s.

3.5.1.5. Direcção Média da Agitação ao Largo

Ainda de acordo com Ramos (2009), a direcção média de propagação da agitação varia entre NW (73%) e W (27%). Assim, considera-se como primeira abordagem a orientação do recife optimizada

para uma direcção predominante, ao largo, de Noroeste, sendo que os ângulos de rebentação poderão variar ligeiramente à medida que a direcção da agitação se alterar, o que introduzirá alguma diversidade nas características do surf praticado sobre a estrutura. Na figura 3.11 apresenta-se uma análise mais detalhada da frequência de incidência de agitação ao largo de Leixões.

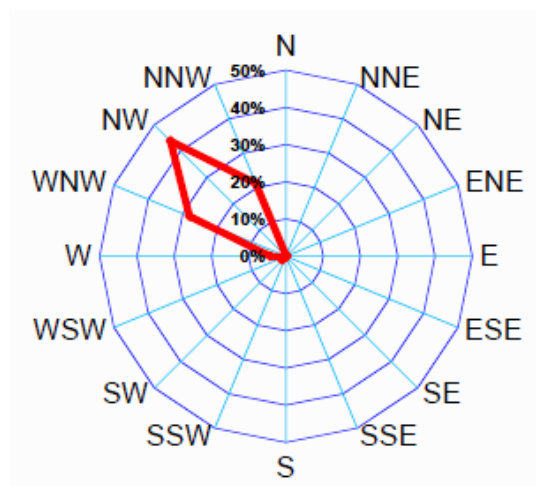


Figura 3.11 – Frequência de incidência de agitação na costa Oeste portuguesa registada ao largo de Leixões (EUrosion, 2006; fonte: dados do Instituto Hidrográfico – bóia de Leixões, 42852 observações de 25/05/2001 a 03/05/2002, 06:31)

3.5.1.6. Nível médio do praticante – Público Alvo

Muito embora o inquérito tenha incidido sobre surfistas que, na sua generalidade, possuem já um nível razoável (de 4 até 7 aproximadamente, segundo a classificação de Hutt *et al* (2001) constante na tabela 2.2), é sabido que um praticante iniciado “surfa” ondas mais chegadas à costa, sendo nessa zona que as escolas treinam quem se está a iniciar na modalidade, como foi já referido em 3.4. Por outro lado, convém salientar que Espinho, para além de receber surfistas de qualidade oriundos de diferentes zonas nacionais e internacionais, que procuram o local por iniciativa individual, recebe com alguma frequência competições regionais de surf. Trata-se, portanto, de criar condições para a prática regular da modalidade para surfistas de nível apreciável. Assim, optou-se por fixar o nível médio de aptidão em 6, correspondente a ângulos de rebentação próximos de 40° e uma altura aproximada de onda de 2 m (segundo a classificação do ábaco da figura 2.14). O recife será dimensionado para a direcção média predominante de agitação, sendo que uma variação nessa mesma direcção conduzirá a diferentes valores do ângulo de rebentação, com um decréscimo de α associado a uma rotação da direcção de agitação no sentido horário e anti-horário, respectivamente para esquerdas e direitas, fazendo assim aumentar a exigência do surf praticado. Um ângulo de rebentação mais reduzido é, ainda, mais indicado para *bodyboarders*, que preferem uma onda mais rápida. O intervalo do ângulo de rebentação dever-se-á compreender, de um modo geral, entre os 30 e os 60°.

Fica, desta forma, satisfeita a condição de dimensionamento para surfistas de nível 5 a 7, aproximadamente, muito embora estes parâmetros estejam longe de poder ser fixados, dada a grande interacção de variáveis em causa, como se verificará em 4.3.

3.5.2. DADOS DE PROJECTO

Nas tabelas 3.10 e 3.11 apresentam-se os dados de concepção médios a adoptar no dimensionamento da estrutura, respectivamente na fixação dos parâmetros gerais do dimensionamento estrutural, e na vertente exclusivamente direccionada ao surf.

Tabela 3.10 – Parâmetros de dimensionamento estrutural

PARÂMETRO	VALOR DE PROJECTO
Nível de preia-mar médio de águas vivas (majorado)	$N_{pmv} = + 3,5 \text{ m (ZH)}$
Nível de baixa-mar viva média	$N_{bmV} = + 0,5 \text{ m (ZH)}$
Nível de maré de dimensionamento	$N_{dim} = + 2,0 \text{ m (ZH)}$
Linha de costa de referência	$Z_{LC} = + 2,0 \text{ (ZH)}$
Altura de onda de projecto para protecção costeira	$H_{so} = 3,0 \text{ m}$
Altura de onda de projecto para surf	$H_{so} = 1,5 \text{ m}$
Períodos	$T_p = 11$ (verificação de 9 a 13 s)
Direcção média	NW (verificação até W no sentido anti-horário)

Tabela 1.11 – Parâmetros/exigências operacionais relativas ao surf

PARÂMETRO	VALOR DE PROJECTO
Nível de aptidão (segundo Hutt <i>et al</i> , 2001)	6 (variando de 5 a 7)
Ângulo de rebentação	40° (variando de 30 a 50° , podendo atingir um máximo de 60°)
Altura de onda	$H_{so} = 1,5 \text{ m}$
Tipo de rebentação	Mergulhante ($\xi_b = 0,8$, o valor mais adequado, ver 4.3.)
Intensidade de rebentação	Média ($B_i = 2,4$)

3.5.3. CONDICIONANTES IMPOSTAS PELO LOCAL

Salvaguardou-se uma zona não sujeita a intervenção, através da definição de uma linha imaginária a sotamar dos esporões, unindo a cabeça do esporão à costa, segundo um ângulo de $+ 45^\circ \text{ N}$ (sentido anti-horário), e traçando uma paralela segundo a direcção normal à costa a partir do ponto de

intersecção obtido anteriormente, tal como ilustrado na figura 3.12. Esta condição prende-se com dois factores. Por um lado, para que a estrutura seja minimamente eficiente ao nível do alargamento da praia, é importante que o recife se localize numa área onde ocorra um transporte apreciável de sedimentos – deriva litoral. Nesse sentido, o facto de se ter considerado, como primeira aproximação, um ângulo de 45° , correspondente ao ângulo da direcção mais frequente de incidência da agitação ao largo (NW). Por outro lado, a reserva desta zona prende-se igualmente com a protecção de uma área já propícia ao surf (quando se verificam condições favoráveis), tal como se pôde concluir através da análise dos inquéritos.

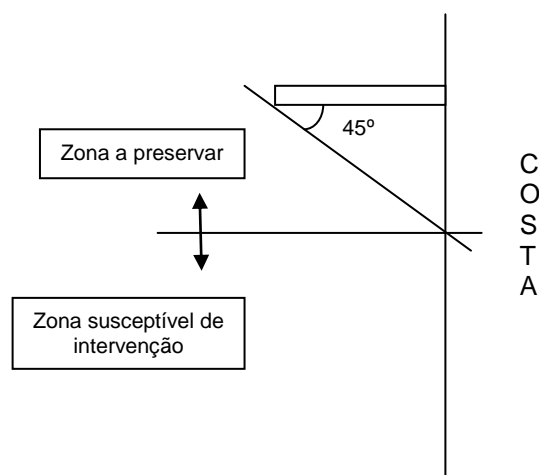


Figura 3.12 – Definição geométrica de áreas protegidas

4

CONCEPÇÃO E PRÉ-DIMENSIONAMENTO

4.1. PROPOSTA E DISCUSSÃO DE POSSÍVEIS SOLUÇÕES

4.1.1. FASE 1: APRESENTAÇÃO DE PROPOSTAS

Interessa, nesta fase, propor todas as hipóteses que se possam prefigurar como viáveis ao nível da concepção do recife artificial, tendo em conta as condicionantes locais. Muito embora o principal foco deste trabalho seja a concepção de um RAM na sua forma mais comum, usualmente em delta, achou-se conveniente considerar alguns dos tipos de obras costeiras mais convencionais adaptando-as, no limite das possibilidades, às exigências operacionais do surf. Assim, as hipóteses são as seguintes:

- **Hipótese 1:** *Regularização dos fundos junto à cabeça dos esporões com geocontentores ou enrocamento.*

O efeito de um esporão na criação de uma zona de surf resulta, aparentemente, da difracção que ocorre junto à cabeça da estrutura, juntamente com o natural reajuste dos fundos à presença daquela, criando-se, desse modo, condições favoráveis à rebentação das ondas de forma propícia à prática da modalidade. Contudo, tratando-se de fundos móveis, nem sempre estes se encontram em condições de proporcionar uma boa onda. Assim, a criação de um fundo fixo seria uma boa alternativa pois proporcionaria um aumento do número de dias surfáveis, integrando o surf numa obra de protecção, no caso, já existente.

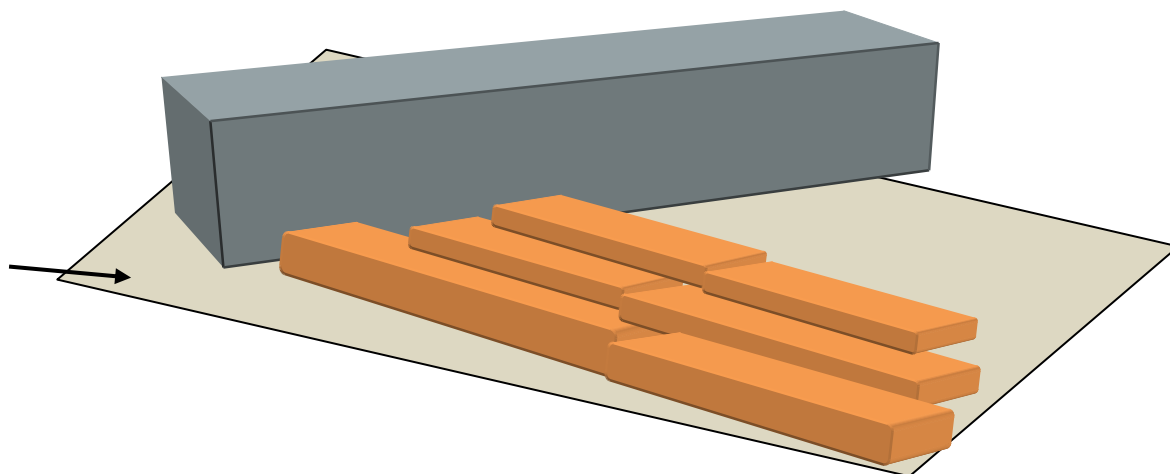


Figura 4.1 – Hipótese 1, correspondente à regularização dos fundos

- **Hipótese 2:** *Quebramar destacado convencional com extremidades laterais circulares pronunciadas.*

Seria um modo de proteger a costa com um quebramar emerso, e cujo modo de funcionamento para o surf resultaria da difracção das ondas nas extremidades do quebramar, de modo análogo ao que ocorre junto à cabeça de certos esporões (à semelhança do que já acontece em Espinho) através do mecanismo referido na hipótese anterior.

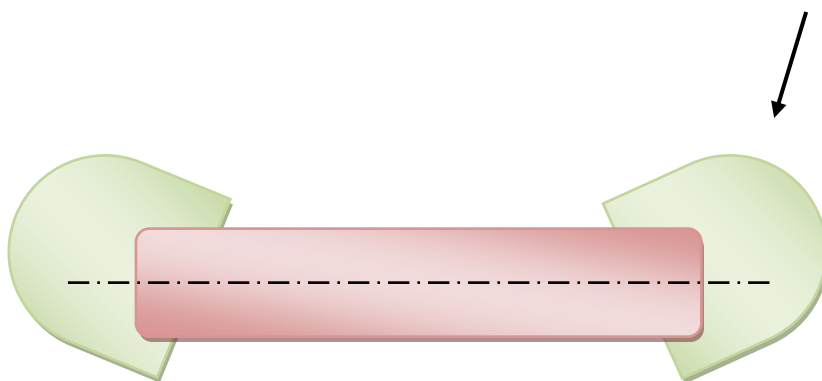


Figura 4.2 – Hipótese 2, solução em quebramar destacado adaptado

- **Hipótese 3:** *Quebramar submerso em geocontentores*

Funcionaria como um quebramar submerso convencional, dimensionado de modo a favorecer a prática de surf através da criação de um talude anterior de maiores dimensões, e eventual desvio angular do eixo longitudinal relativamente à linha de costa.

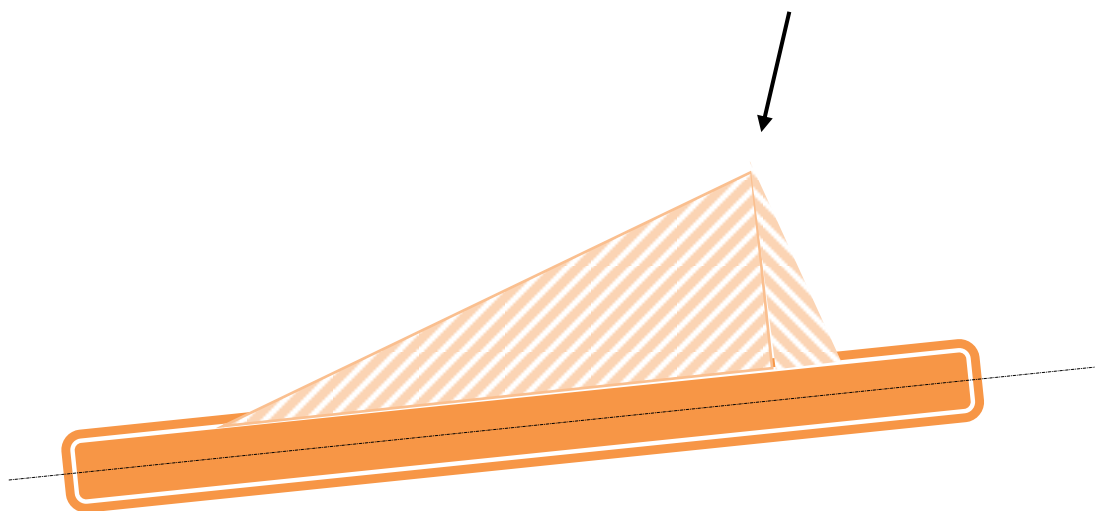


Figura 4.3 – Hipótese 3, solução mista entre quebramar submerso e recife

- **Hipótese 4:** *Recife convencional em delta*

Este é o tipo de estrutura que tem sido o principal foco da atenção por parte da comunidade científica. A sua forma triangular em planta (ou aproximadamente triangular, podendo variar por diferentes configurações) permite a formação de uma onda que rebenta para os dois lados (esquerda e direita),

propositadamente concebida para se adaptar às exigências e aptidões dos surfistas locais. A sua vertente de protecção costeira tem vindo igualmente a ser estudada em anos recentes (ver subcapítulo 2.2).

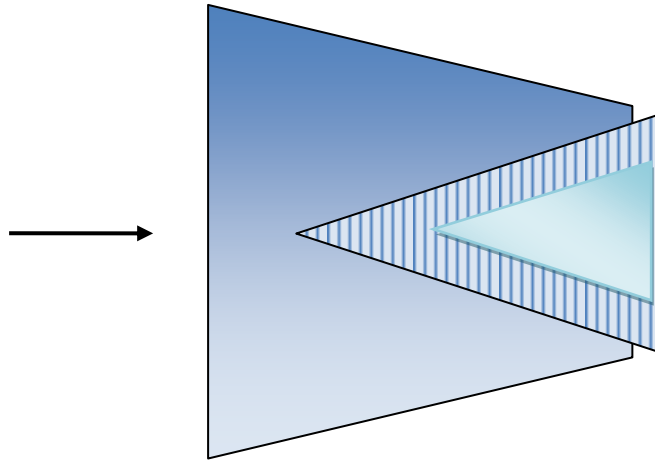


Figura 4.4 – Hipótese 4, correspondente a uma solução em delta

- **Hipótese 5:** *Recife em delta tipo Narrowneck*

O que distingue o recife de Narrowneck da maioria dos recifes-tipo apresentados na hipótese 4 é, para além da sua grande dimensão, a existência de um canal ao centro o qual, segundo estudos de Van Ettinger (2005), propicia um aumento da linha de percurso do surfista, atenuando as correntes em torno do recife (*rip currents*), sendo que este efeito diminui em cerca de 20% a extensão do percurso (*breaker line*). O facto de ter sido o primeiro recife multifuncional a ser construído, tendo obtido um sucesso apreciável, faz também com que lhe deva ser atribuído especial relevo no âmbito da concepção de qualquer obra deste género.

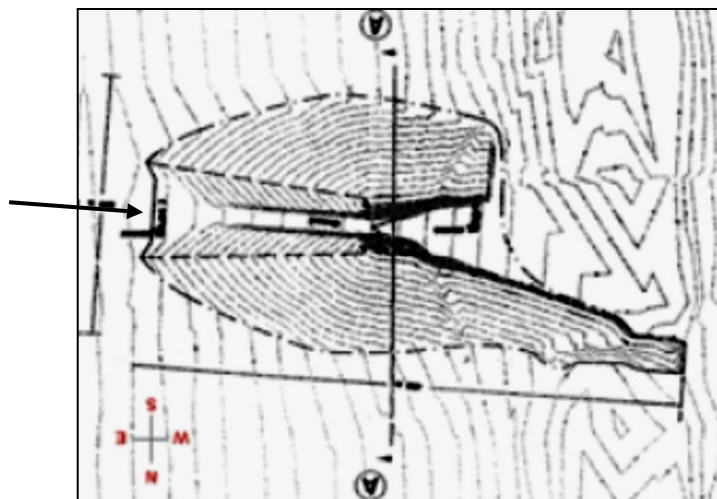


Figura 4.5 – Planta do recife de Narrowneck, correspondente à solução 5 (apresentação da empresa ASR Ltd. - *Multi-Purpose Ocean Reefs: Understand, Innovate, Sustain*, by Dr. Kerry Black)

- **Hipótese 6: Recife tipo Boscombe (“Wave Rotator”)**

Tratando-se de um conceito favorável de protecção costeira, especialmente em condições de amplitude de maré elevada, o realinhamento da crista das ondas deverá ser considerado no caso de estudo. Não foi possível encontrar informação aprofundada (de livre acesso) no âmbito da concepção deste tipo de estrutura, ressaltando-se algum material resultante da pesquisa relativa ao projecto Delos.

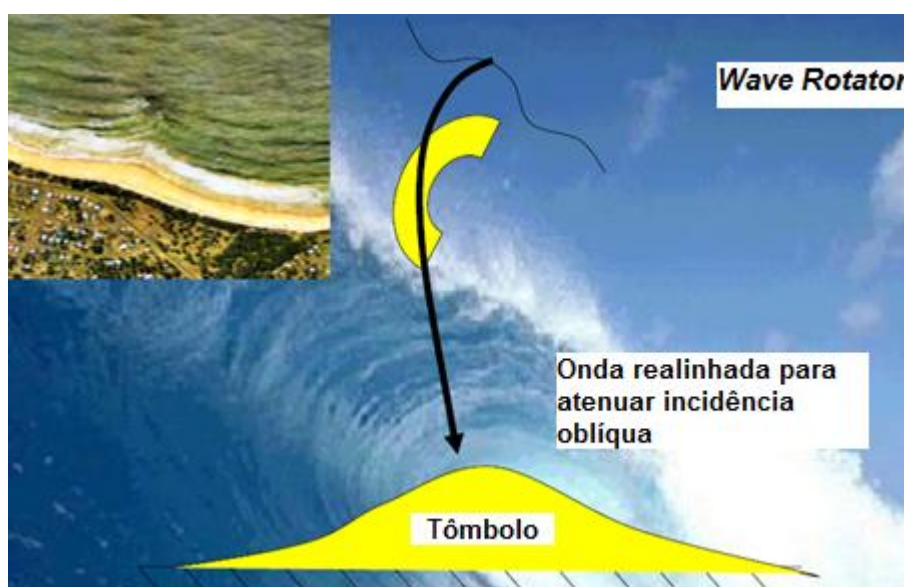


Figura 4.6 – Esquema de funcionamento de um recife *rotacional*, correspondente à solução 6 (apresentação da empresa ASR Ltd. – *Multi-Purpose Ocean Reefs: Understand, Innovate, Sustain*, Dr. Kerry Black)

Resta acrescentar que a incorporação de uma plataforma antecedendo os taludes de rebentação será também uma opção a considerar, nomeadamente nas hipóteses 3 a 6. Os benefícios de uma plataforma estão descritos no capítulo 2, embora a sua eficiência real só possa ser levada a cabo de forma rigorosa através de uma análise em modelo físico e numérico, dadas as condicionantes locais específicas de cada obra.

4.1.2. FASE 2: ANÁLISE COMPARATIVA E EXCLUSÃO DE HIPÓTESES

4.1.2.1. Classificação de Hipóteses por Critério

Nas tabelas 4.1 (a), (b) e (c) encontram-se listadas as diferentes hipóteses referidas no ponto anterior, analisadas de acordo com oito critérios, indicados na primeira linha de cada coluna, a saber: eficácia da obra no que toca a protecção costeira, comportamento relativo ao surf (incorporando a segurança do praticante), estabilidade estrutural da obra e cuidados de manutenção, impactos ambiental e visual da obra no local, possibilidade de utilização da estrutura para fins recreativos (à excepção do surf) e respectivo grau de ocupação, sucesso de soluções análogas já experimentadas e custo de obras semelhantes.

Tendo em conta o exposto no capítulo 2 e, particularmente, o estado de arte descrito em 2.4, considerou-se que os oito critérios seleccionados são a base fundamental para o tipo de averiguação pretendida. Outros critérios poderiam ser apontados, atribuindo uma maior especificidade à avaliação,

embora nesta fase não pareça adequado estender em demasia este escrutínio, levando-o a um nível de pormenorização excessivo. Por outro lado, os critérios apresentados são já, de certa forma, inclusivos da maioria dos restantes, sendo que a sua adequação acaba por ser auto-justificativa no decorrer da análise.

Acima de cada comentário apresenta-se uma classificação de 1 a 5, respeitante à avaliação de cada um dos critérios para cada uma das hipóteses apresentadas, sendo que a classificação “1” representará o pior cenário possível/afecção nula, e “5” o cenário mais favorável/apropriado. Esta avaliação é preliminar e subjectiva, servindo simplesmente o propósito de representação aproximada da avaliação genérica de cada uma das hipóteses apresentadas. As classificações serão usadas, de forma ponderada, consoante cada um dos cenários referidos no ponto seguinte do capítulo. Resta ainda acrescentar que, tratando-se de uma primeira avaliação, esta análise não poderá entrar em linha de conta com os custos de uma forma muito exacta, uma vez que estes estarão dependentes do dimensionamento propriamente dito, sendo um critério a considerar obrigatoriamente numa fase posterior. Pode-se, no entanto, referir que, geralmente, a opção por materiais geossintéticos se revela menos dispendiosa comparativamente, por exemplo, com o uso de betão. A classificação deste critério foi, então, levado a cabo por comparação com custos finais de obras já existentes, levando em consideração, sempre que possível, alterações pontuais previsíveis da dimensão da estrutura.

Tabela 4.1 (a) – Matriz de classificação preliminar das hipóteses 1 e 2

Hipótese	Tipo de Estrutura	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e segurança do praticante	Manutenção e Estabilidade	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Anteriores	Custo aproximado da obra
1	Regularização dos fundos junto à cabeça dos esporões com geocontentores ou enrocamento	(1) Nula. Não é expectável que aumente a eficiência do esporão.	(3) Fundos Fixos – aumento do número de dias surfáveis. Área já procurada – <i>crowded</i> . Continuará a proporcionar somente uma direita. Não interfere, de todo, com a segurança dos praticantes.	(3,5) Previsível deslocamento dos geocontentores ou enrocamento, embora não significativo – solução rasa e protegida em parte pelo esporão.	(5) Material Ambientalmente inerte. Eventual proliferação de vida marinha nos sacos geotêxteis. Possibilidade de remoção.	(5) Solução não visível.	(2) Eventualmente pesca subaquática. As zonas são já frequentadas por surfistas.	(1) Pouco ou nada divulgado.	(3,5) Será um custo dependente da área que se pretende abranger.
2	Quebramar destacado emerso com extremidades circulares pronunciadas	(4,5) Alargamento da praia – tómbolo ou saliência. Atenuação significativa da energia das ondas.	(3,5) Mantêm-se os fundos móveis, embora ocorra dispersão dos surfistas. Nível de segurança e funcionamento semelhantes às já encontradas junto à cabeça dos esporões.	(5) Boa estabilidade. Sujeito a manutenção esporádica.	(1,5) Betão e rocha são soluções a evitar. Dificuldade de remoção.	(1) Negativo.	(3) Criação de zona de mergulho protegida (<i>sheltered zone</i>).	(2) O modo de funcionamento tem por vezes sucesso, mas acidentalmente	(1) Obra geralmente dispendiosa, nunca inferior a 5 milhões €

Tabela 4.1 (b) – Matriz de classificação preliminar das hipóteses 3 e 4

Hipótese	Tipo de Estrutura	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e segurança do praticante	Manutenção e Estabilidade	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Anteriores	Custo aproximado da obra
3	Quebramar submerso em geocontentores	(3,5) Mesmo que em 2, embora a submergência seja desfavorável em condições de maré mais elevada.	(4) (Eventual incompatibilidade com protecção costeira). Somente direitas. Criação de novo local permanente para o surf. Prática da modalidade em segurança acima do nível médio de maré.	(4) Estabilidade dos geocontentores é atenuada pela submergência. Manutenção pontual. Prática de surf em segurança acima do nível médio de maré	(5) Mesmo que em 1.	(4) Parcialmente visível em condições extremas de baixa-mar.	(4) Mesmo que em 2. Material mais amigável. Pesca subaquática.	(2) Apesar de não ter sido propriamente experimentada, é uma solução interessante de características mistas.	(4) Estrutura de menor altura, embora se possa prolongar longitudinalmente; considere-se aproximado a 4.
4	Recife convencional em delta	(3,5) Mesmo que em 3.	(4,5) Criação de um novo local permanente para o surf com esquerdas e direitas. Nível de segurança semelhante à referida na hip. 3	(4) Mesmo que em 3.	(5) Mesmo que em 1.	(4) Mesmo que em 3.	(5) Mesmo que em 3, embora em maior escala, devido a dimensões superiores.	(3) Bem documentada. Eficiência contestável nalguns casos.	(5) Recife de Mt. Maunganui ascendeu aos 645 mil €

Tabela 4.1 (c) – Matriz de classificação preliminar das hipóteses 5 e 6

Hipótese	Tipo de Estrutura	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e segurança do praticante	Manutenção e Estabilidade	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Anteriores	Custo aproximado da obra
5	Recife em delta tipo Narrowneck	(4) Mesmo que em 3. É previsível que a maior dimensão aumente a eficiência.	(5) Mesmo que em 4, com atenuação do efeito das correntes de retorno. Segurança semelhante à referida na hip. 3	(4) Mesmo que em 3.	(5) Mesmo que em 1.	(4) Mesmo que em 3.	(5) Mesmo que em 4.	(4) Estrutura multifuncional bem sucedida no cômputo geral (caso específico)	(3,5) Custo de 1,7 milhões €, embora o projecto contemplasse o dobro do volume instalado. Considere-se 3,4 milhões €.
6	Recife tipo Boscombe (Wave Rotator)	(2,5) Atenuação da erosão por realinhamento da crista das ondas em relação à costa. Algo dúbio em termos de eficácia.	(4) Criação de um novo local permanente para o surf, permitindo um único sentido de rebentação. Segurança semelhante à referida na hip. 3	(4) Mesmo que em 3.	(5) Mesmo que em 1.	(4) Mesmo que em 3.	(4) Mesmo que em 3.	(2,5) Eficiência contestável (caso específico)	(3,5) O recife de Boscombe ascendeu aos 3,5 milhões €

4.1.2.2. – Classificação de Hipóteses por Cenário

Definidos os critérios-chave de avaliação, interessa, de seguida, correlacioná-los em diferentes cenários, procedendo-se, desse modo, a uma análise multicritério em fase preliminar de projecto. As tabelas com a computação dos resultados para cada cenário podem ser consultadas no anexo A3. Os cenários seleccionados são os seguintes:

- **Cenário 1 – *Critérios Ponderados*:** neste cenário pretendeu-se devolver uma panorâmica geral e realista do peso de cada critério. Assim, deu-se primazia à multifuncionalidade da estrutura, contemplando de forma idêntica o surf e a protecção costeira (22% a cada vertente), repartindo-se os restantes 56% pelos critérios sobranes, privilegiando o uso da estrutura para outros fins (funcionalidade secundária), bem como o custo aproximado de obra (um factor sempre relevante, embora aqui só entre com 12%, dada a incerteza associada a este aspecto, nesta fase do trabalho, e em obras desta natureza). No final, surge o sucesso de experiências antecedentes (8%), impacto visual e ambiental da obra, com 8 e 5%, respectivamente;
- **Cenário 2 – *Exclusivamente Protecção Costeira e Surf*:** como o próprio título indica, só foram contempladas a eficiência da obra no que toca ao Surf e Protecção Costeira (50% para cada um dos critérios);
- **Cenário 3 – *Operacionalidade*:** neste cenário pretende-se conciliar a eficiência multifuncional bruta do recife com as questões relativas à parte construtiva, nomeadamente manutenção e estabilidade (30% de peso para cada um dos três critérios). Considerou-se que o critério referente a experiências similares antecedentes poderá ser igualmente relevante, no sentido de identificar potenciais fraquezas desta natureza;
- **Cenário 4 – *Potencial Turístico*:** partindo-se do princípio de que o surf será uma das actividades que mais indivíduos trará à praia (entre surfistas e não surfistas), deu-se primazia a este critério (40%). Com metade do peso do critério anterior aparece o potencial de ocupação para actividades recreativas (20%). De forma decrescente de relevância, os efeitos do impacto visual, ambiental, bem como o alargamento da praia (por efeito de protecção, embora não seja muito significativo), atrairão também um maior número de indivíduos ao local;
- **Cenário 5 – *Primazia a Defesa Costeira*:** Dando-se um peso inequivocamente superior à protecção Costeira (50%), seguido do sucesso das experiências antecedentes (para avaliação do potencial sucesso do cenário analisado), e comportamento relativo ao surf (ambos com 15%). Os factores de menor relevo, por ordem decrescente, são o potencial recreativo (também uma das funcionalidades), a estabilidade da estrutura (pois pode obrigar a custos de longo prazo) e, com menor e idêntica relevância, os impactos ambiental e visual, bem como o custo da obra, pois não interferem directamente com o que se pretende avaliar.
- **Cenário 6 – *Primazia ao Surf*:** Totalmente análogo ao anterior, com a excepção da troca no peso do critério da eficiência referente ao Surf, que passa a tomar o valor anteriormente atribuído à eficácia de protecção costeira, e vice-versa;
- **Cenário 7 – *Integração no Meio e Sustentabilidade*:** Pretendeu-se, com este cenário, averiguar a capacidade de adaptação da obra ao meio envolvente em termos ambientais e de impacto

paisagístico (ambas com 30%), a capacidade da estrutura em se adaptar às condições locais sem ser alvo de manutenção ou reparos (20%) e, finalmente, o potencial de adesão da comunidade a uma obra deste género, à excepção do surf (também com 20%);

- **Cenário 8 – *Benefício Económico a Longo Prazo*:** Em termos muito genéricos, e com o intuito de avaliar até que ponto a obra poderá desenvolver e beneficiar economicamente a região, fez-se o balanço entre os pontos fortes de atractividade, sendo o maior destes a eficiência referente ao surf (30%), seguida da capacidade de utilização da estrutura para outros fins balneares (15%), e os custos previsíveis da obra, não só o investimento inicial, dado pelo custo aproximado, como o custo sistemático a longo prazo, reflectido na manutenção e estabilidade da estrutura, contemplando um peso total de 35%. As experiências antecedentes não se relacionam a esta natureza, mas sim ao potencial de avaliação da eficácia da estrutura;
- **Cenário 9 – *Primazia a Fins Recreativos e Ocupação*:** na tentativa de quantificar o valor acrescentado que a estrutura trará à zona banhar, um pouco à margem do surf, deu-se primazia ao critério de Fins Recreativos e Ocupação (50%), ao impacto ambiental e visual da obra (15% cada), uma vez que, em certa medida, também são um factor de atractividade ao local. Só o critério relativo ao sucesso das experiências anteriores não foi contemplado, por estar mais centrado na funcionalidade de protecção e de surf.
- **Cenário 10 – *CrITÉrios Identicamente Ponderados*:** como se pode depreender trata-se, tão somente, de atribuir o mesmo peso a cada critério, alargando, por hipótese, o campo de análise de maneira absolutamente equitativa.

Tabela 4.2 – Peso percentual atribuído a cada um dos critérios em função do cenário

Cenário	Critério							
	Eficácia Protecção Costeira	Eficácia Surf e Segurança Praticante	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra
1	22,0%	22,0%	8,0%	5,0%	8,0%	15,0%	8,0%	12,0%
2	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
3	30,0%	30,0%	30,0%	0,0%	0,0%	0,0%	10,0%	0,0%
4	10,0%	40,0%	0,0%	10,0%	15,0%	20,0%	5,0%	0,0%
5	50,0%	15,0%	6,0%	2,0%	2,0%	8,0%	15,0%	2,0%
6	15,0%	50,0%	6,0%	2,0%	2,0%	8,0%	15,0%	2,0%
7	0,0%	0,0%	20,0%	30,0%	30,0%	20,0%	0,0%	0,0%
8	5,0%	30,0%	15,0%	5,0%	5,0%	15,0%	5,0%	20,0%
9	5,0%	10,0%	3,0%	15,0%	15,0%	50,0%	0,0%	2,0%
10	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%

Como indicador inicial da viabilidade de cada uma das propostas sugeridas, é apresentada na tabela 4.3, a título de exemplo, a classificação final das hipóteses analisadas, tendo em conta os pesos atribuídos ao cenário 1.

Tendo em conta os argumentos apresentados na tabela 4.1 e consequentes resultados após ponderação de diversos cenários (constantes na tabela 4.4) compreendendo 8 critérios e 10 cenários (num total de 80 classificações independentes), é já possível retirar algumas ilações da análise preliminar levada a cabo.

Assim, num cômputo geral, conclui-se que a hipótese 5 (recife tipo *Narrowneck*) é a que se revela mais benéfica em quase todos os cenários, tendo-se destacado em 8 dos 10 considerados, para além de, na média simples final obtida em todos os cenários, se encontrar igualmente na posição mais favorável. Ainda em relação ao primeiro cenário (o mais relevante), esta solução é a que obtém o melhor resultado, seguida de perto pela hipótese 4, a qual obtém um total de 3 máximos, dois destes juntamente com a hipótese 5, e outro referente ao benefício económico a longo prazo (por ser uma estrutura relativamente mais pequena do que a solução 5 e, consequentemente, comportar menos custos). Por outro lado, o facto de ambas as soluções obterem a mesma classificação, tanto na média simples final, bem como nos resultados do primeiro cenário, é revelador da robustez das ponderações usadas.

Outra conclusão interessante é a de que os dois valores máximos obtidos se reportam aos cenários 4 e 6, correspondentes, respectivamente, ao *Potencial Turístico* e à *Primazia ao Surf* o que, muito embora tenha sido atribuído ao surf um peso significativo no que toca ao benefício turístico, não deixa de ser um indicador relevante de como uma solução para esta modalidade poderá trazer ou acrescentar valor turístico a uma região.

Através da análise dos resultados é também possível concluir que, das seis soluções, pelo menos três poder-se-ão excluir já à partida, por não se adaptarem ao fim aqui pretendido, correspondentes às hipóteses 1, 2 e 6 – revestimento dos fundos, quebramar destacado adaptado ao surf e recife tipo Boscombe (*Wave Rotator*), respectivamente. Convém salientar que esta avaliação, para além de preliminar, possui um contexto local específico, pelo que não será aconselhável a sua generalização excessiva a outras situações. Por outro lado, este cenário alterar-se-ia ainda caso a estrutura pretendida contemplasse separadamente uma das funcionalidades. No caso de estudo, averiguou-se a possibilidade de o recife ser igualmente (ou aproximadamente) funcional nas duas vertentes consideradas.

Assim, a hipótese 1, a pior classificada, exceptuando isoladamente no cenário 7 (*Integração no Meio e Sustentabilidade*), acaba por perder nos restantes, uma vez que não é de todo direccionada à protecção costeira, critério aqui tomado, globalmente, como tendo a mesma preponderância do que o surf.

A hipótese 2, contemplando um quebramar destacado adaptado ao surf, acaba por obter boa classificação nos cenários 2, 6 e 9, que se prendem mais com questões relativas à funcionalidade pura da estrutura, mas sai prejudicada nos aspectos ambientais, visuais e de sustentabilidade.

Já a hipótese 6, muito embora tratando-se de um RAM, aparentemente melhor adaptado às condições de maré locais, acaba por ser preterida face às restantes soluções em recife, prejudicada pelo seu desempenho algo dúbio ao nível da protecção costeira (a que não será alheio o facto de se reportar a uma única obra, a qual tem sofrido grande contestação). O preço final da obra prejudicou igualmente o resultado geral obtido, apesar de ser dada em função de um caso isolado, não se podendo, dessa forma, generalizar em demasia. Será, contudo, uma solução susceptível de maior ponderação, sobretudo na presença de dados concretos de concepção (não obtidos no âmbito deste trabalho).

Finalmente, interessa ainda referir a hipótese 3, a qual se reporta a um quebramar submerso de características mistas. A grande questão que se coloca prende-se com a sua possível ineficiência na compatibilização do surf e da defesa da costa. Com efeito, para a estrutura funcionar nas duas vertentes, seria necessário averiguar a possibilidade de se obter um talude que permitisse um ângulo de rebentação adequado às exigências de uma onda surfável. Como foi já referido, teoricamente, o mínimo ângulo do recife a devolver ângulos de rebentação “surfáveis” (em geral, acima dos 40°), é de 66°, o que faria com que a inclinação do eixo longitudinal da estrutura fosse demasiado elevada para surtir algum efeito de protecção costeira. Nesse cenário, seria talvez possível considerar a definição de

um talude (com eventual incorporação de plataforma), capaz de contornar esta situação, o que passaria por ensaiar diferentes configurações em modelo numérico (dada a complexidade do fenómeno em causa) sendo que, mesmo nessa situação, será expectável que a onda rebente muito rapidamente, o que inviabilizará a utilização da estrutura por surfistas não profissionais. Não deixa de ser, no entanto, uma solução susceptível de ser analisada numa fase posterior, e dispondo-se dos meios para a sua correcta avaliação.

Tabela 4.3 – Cálculo do Cenário 1

Hipótese	Eficácia de Protecção Costeira	Comportamento relativo ao Surf e Segurança Praticante	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	22,0%	22,0%	8,0%	5,0%	8,0%	15,0%	8,0%	12,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	2,6
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	3,0
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	3,9
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	4,2
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,4
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,5

Tabela 4.4 – Resultados Globais

Hipótese	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9	Cenário 10	Média Simples
1	2,6	2,0	2,3	3,0	1,6	2,3	4,1	3,0	2,0	3,0	2,6
2	3,0	4,0	4,1	2,9	3,7	3,3	2,4	2,9	4,0	2,7	3,3
3	3,9	3,8	3,8	4,0	3,6	3,8	4,3	3,8	3,8	3,9	3,9
4	4,2	4,0	3,9	4,4	3,8	4,1	4,5	4,5	4,0	4,3	4,2
5	4,4	4,5	4,3	4,7	4,2	4,6	4,5	4,4	4,5	4,3	4,4
6	3,5	3,3	3,4	3,9	3,0	3,6	4,3	3,8	3,3	3,7	3,6
Máximo	4,4	4,5	4,3	4,7	4,2	4,6	4,5	4,5	4,5	4,3	
Hipótese	5	5	5	5	5	5	4 - 5	4	5	4 - 5	

4.1.3. FASE 3: SOLUÇÕES VIÁVEIS

Como se poderá já depreender pelas observações do ponto anterior, as soluções que à partida se prefiguram como sendo as mais adequadas ao caso de estudo serão, então, as que contemplam uma estrutura em delta. Para além de serem os recifes artificiais mais divulgados e estudados, tanto na sua vertente de surf como na componente referente à protecção costeira, acrescentam ainda o potencial de permitirem a rebentação das ondas em ambos os sentidos, proporcionando esquerdas e direitas, aspecto não contemplado pelas hipóteses 3 e 6.

Contudo, dada a escassez de dados e metodologias de concepção incidindo sobre o recife de Narrowneck (o melhor classificado), partir-se-á, na fase de dimensionamento preliminar, de um “recife tipo” em delta, na sua forma convencional, devendo considerar-se posteriormente a adaptação desta estrutura ao caso mencionado, o qual passará por averiguar a possibilidade da sua adequação efectiva ao contexto local, ensaiando-a em modelo numérico (tanto na obtenção de resultados relativos às exigências de surf, como de protecção costeira). Algumas das adaptações a realizar ao “recife tipo” inicial foram tratadas nos trabalhos de Van Ettinger (2005), pelo que, à falta de outros dados, constituir-se-ão estes, então, como a linha orientadora nessa fase.

4.2. ENSAIO EXPEDITO EM MODELO FÍSICO

4.2.1. OBJECTIVOS E CONDIÇÕES DE ENSAIO

Na tentativa de confrontar alguns dos princípios fundamentais apresentados na exposição teórica, não só no seu fundamento de concepção, mas também num âmbito mais construtivo (nomeadamente relacionado com o desempenho e estabilidade dos materiais geossintéticos), conduziu-se um ensaio em modelo reduzido no tanque de ondas do laboratório de hidráulica da FEUP. O facto de este ensaio preceder o pré-dimensionamento deve-se, essencialmente, à tentativa de limitação do domínio das variáveis de cálculo, as quais revelam uma grande interdependência, sobretudo nos aspectos relacionados com o surf.

As dimensões do tanque encontram-se representadas em planta na figura 4.7, onde se pode também observar o posicionamento da estrutura ensaiada (com comprimento aproximado de 3 m).

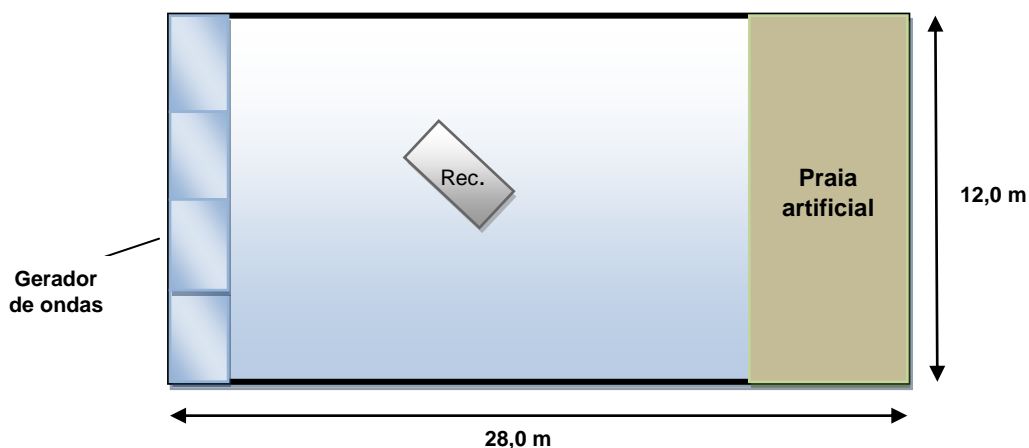


Figura 4.7 – Caracterização do local de ensaio

Por razões que se prendem com a frequência de utilização do tanque de ondas, bem como com as dimensões dos sacos geotêxteis disponíveis, o objectivo do ensaio centrou-se essencialmente na observação e documentação fotográfica da rebentação das ondas sobre um único talude, correspondente a um dos lados de um recife em delta. O comportamento e a estabilidade dos sacos foram igualmente registados.

Nesse sentido, conduziram-se 4 ensaios, cujas condições se apresentam na tabela 4.5.

Tabela 4.5 – Condições de ensaio

Ensaio	Tipo Agitação	H [m]	T [s]
1ª	Regular	1,5	11
2º	Regular	1,5	9
3º	Irregular (espectro de Jonswap)	1,5	9

A semelhança de Froude foi utilizada com um factor de 1:12, sem distorção de escala, apresentando-se as dimensões do modelo e protótipo na tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Características de instalação do modelo ensaiado

	Modelo [cm]	Protótipo [m]
Submergência	18,5	2,22
Altura de água no tanque	58	6,96
declive	≈1:20	≈1:20
h_{rec}	39,5	4,74



Figura 4.8 – Talude ensaiado

Convém referir que, devido às condições de colocação dos geocontentores, não foi possível obter um talude com uma inclinação perfeita. Com efeito, por força do deslocamento de areia no interior dos sacos durante o transporte para a zona central do tanque, tornou-se difícil colocá-los de maneira a ficarem perfeitamente alinhados em toda a sua extensão, segundo o ângulo do recife testado, de 45° . A situação foi algo atenuada com a colocação de pequenos sacos na parte superior do talude (faixa branca visível na figura 4.8), tendo-se obtido uma inclinação média aproximada do talude de 1/20.

4.2.2. RESULTADOS E OBSERVAÇÕES

Os registos fotográficos bem como as observações mais relevantes do ensaio apresentam-se de seguida.

- Agitação regular, $H_0=1,5$ m e $T=9$ s:

Este foi o ensaio que devolveu os melhores resultados. Com efeito, o espaço no interior do vórtice (*tubo*) pareceu apresentar uma dimensão perfeitamente adequada, proporcionando uma boa onda de surf. Em baixo, podem observar-se duas imagens sequenciais da rebentação correspondente à secção inicial do talude. Na figura 4.9 (a), só a primeira secção da crista rebenta, observando-se a presença de uma massa de água considerável na parte de trás da onda, proporcionando uma onda *com força*, característica muito apreciada pelos surfistas, e rebentando com uma forma bem definida (tal como se verifica na figura 4.9 (b)).



Figura 4.9 (a) – Fase inicial de rebentação sobre a primeira secção do talude



Figura 4.9 (b) – Imagem sequencial do início de rebentação representado na figura 4.9 (a)

- Agitação irregular, $H_0=1,5$ m e $T=9$ s:

Tendo sido mais difícil a captação de imagens de qualidade neste ensaio, foi possível, no entanto, observar-se um tipo de rebentação predominantemente progressiva (ondas “moles”), com ocorrência pontual de rebentação mergulhante, a qual se processou com maior intensidade comparativamente aos ensaios com agitação regular. Este facto deverá ser acautelado com a fixação de um nível de submersão adequado (ligeiramente superior a 2 metros, no presente ensaio) sublinhando, no entanto, que o recife não se encontra ainda na sua forma definitiva, além de que se deve ter em conta as limitações inerentes a um ensaio em modelo reduzido no que concerne à fidelidade de reprodução das condições reais de funcionamento da estrutura. Por outro lado, a generalidade dos surfistas sabe reconhecer, intuitivamente, situações que ponham em causa a sua segurança, abstendo-se de surfar o mar em condições de risco, pelo que a submersão, desde que acautelada face a um nível mínimo, não constituirá um factor de impedimento ao dimensionamento da estrutura. Nesse sentido, e tendo em conta que o tipo de agitação predominante nas condições reais se aproximará, maioritariamente, destas características, o facto de se terem obtido ondas surfáveis pode ser interpretado como um prenúncio optimista da eficiência do recife relativamente ao surf.

Convém referir que, em todos os ensaios, as ondas rebentaram sobre o talude em secções curtas e rápidas, facto que leva a concluir, como seria previsível, que um ângulo do recife de 45° proporciona ângulos de rebentação reduzidos, por força de uma razão de rebentação elevada, V_p (*peel ratio*). Esta situação encontra-se bem patente na imagem da figura 4.10, onde se observa claramente a rebentação da primeira secção da crista de forma quase simultânea (em *close-out*), embora se deva ter em conta que, tratando-se do momento em que a onda está a “sentir” a estrutura pela primeira vez, e dada a ausência de convergência de raios de onda (*wave focusing*) no início do recife (o que retardará necessariamente a rebentação, afectando ainda, positivamente, o seu empolamento), não parece constituir um problema nesta fase. Por outro lado, prevê-se que as ondas encontrem um talude com uma inclinação próxima de 1:10 (no nível “ótimo de maré”), o que corrigirá automaticamente esta situação. Neste ensaio, e dada a submersão do talude, estão a tratar-se as condições de maré acima do nível médio.

Conclui-se, assim, ser preferível partir de um ângulo de 66° para o dimensionamento em fase preliminar. Em todo o caso, interessa lembrar que ondas rápidas podem ser propícias ao *bodyboard*, aumentando assim o âmbito de utilização do recife.

No que respeita ao material utilizado, os sacos de menores dimensões revelaram-se pouco estáveis, sobretudo na zona inicial de rebentação, sendo necessário proceder-se a um reajuste no modelo, no final de cada ensaio. Na imagem da figura 4.11 essa situação encontra-se representada, sendo observável o deslocamento de um dos sacos de dimensões mais reduzidas na base do talude.

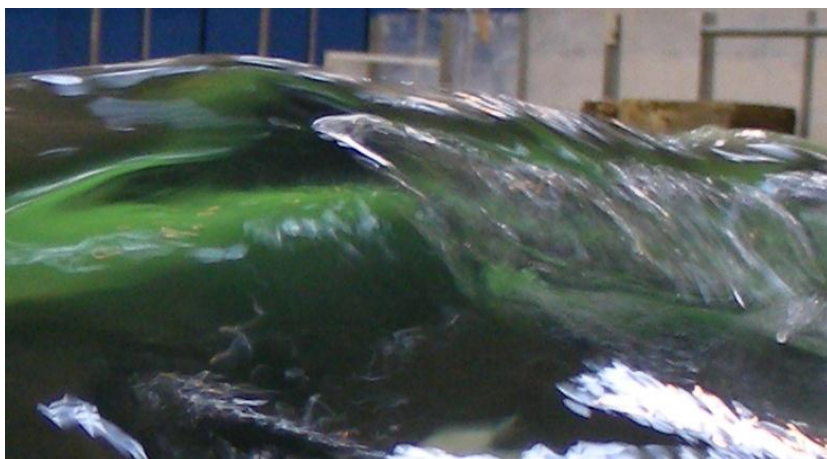


Figura 4.10 – Rebatida simultânea de uma secção da crista (*closing-out*)



4.11 – Deslocamento dos sacos após um dos ensaios

A este propósito, será de interesse referir (entre a diversa bibliografia que se reporta à descrição das propriedades e aplicações destes materiais em obras costeiras) um estudo levado a cabo por Bezuijen

et al (2004) onde se conclui que a estabilidade dos geocontentores sob incidência de agitação parece ser bastante elevada, se bem que, no caso particular dessa análise, os elementos se encontravam agrupados de uma forma ordenada, o que implicará, ao nível de projecto, uma definição apropriada do posicionamento dos sacos que constituem a estrutura. Referem, ainda, que o rigor de colocação dos elementos a profundidades superiores a 15 m começa a tornar-se problemático (o que não se aplica às condições de estudo do presente trabalho). Por outro lado, os autores sublinham a grande importância da qualidade de mão-de-obra na eficiência construtiva e subsequente desempenho da estrutura. Apresentam, ainda, uma compilação de formulações relativas à estabilidade e desempenho hidrodinâmico dos geocontentores, provenientes de diversos autores.

Um possível método de colocação dos geocontentores é descrito em pormenor por Black *et al* (2009), numa candidatura submetida para uma patente nos EUA (*United States Patent Application Publication*), citada na bibliografia.

Interessa ainda referir outro aspecto construtivo de grande relevância, que deverá ser acautelado em fase de projecto. Muito embora os geocontentores coloquem a possibilidade de se efectuarem reajustes após colocação em obra, devido ao seu grau variável de enchimento, o recife deverá ser projectado tendo em conta o assentamento inevitável que ocorrerá no período inicial de vida da estrutura, que geralmente será próximo de 1 m face à cota prevista no projecto. Por outro lado, tal como referido em 2.4, a propósito da técnica construtiva utilizada nos recifes de Mount Maunganui e de Boscombe, o método RAD (*Rapid Accurate Deployment*) desenvolvido por Black e Mead poderá ser valioso face à mitigação das irregularidades nos sacos (enchimento não homogéneo ao longo das secções), impedindo a replicação das condições do presente ensaio, em resultado do transporte dos sacos para o interior do tanque de ondas.

4.3. DIMENSIONAMENTO PRELIMINAR

4.3.1. POSICIONAMENTO DA ESTRUTURA

4.3.1.1. Definição do recife em planta

De um modo geral, a primeira questão a definir no dimensionamento preliminar de um recife multifuncional é o posicionamento da estrutura, de onde se parte, seguidamente, para os aspectos mais pormenorizadas de cálculo. Nesta fase, pretende-se encontrar um equilíbrio entre a distância “ótima” para a defesa de costa e a criação de condições para a prática de surf o que, em determinadas condições, poderá levar a conflitos, como se verá posteriormente.

No sentido de integrar as duas soluções preferenciais (tal como concluído em 4.1.), considerar-se-á, numa fase inicial, uma estrutura em delta de dimensões apreciáveis, entre 110 e 150 m de largura, L_s . Saliente-se que o projecto de Narrownneck previa uma largura da base do recife de 175 m, embora tal não pareça viável de considerar nesta primeira fase, como se verá mais adiante. O ângulo do recife será fixado em 66° , uma vez que, teoricamente, se trata do valor mínimo que devolve ângulos de rebentação dentro de um “regime surfável”. Este máximo teórico é encontrado em condições de refração linear e sem ter em conta a concentração de energia das ondas (*wave focusing*). Na realidade, o ângulo do recife poderá diminuir, mantendo as condições da estrutura para o surf, embora o ângulo de rebentação só possa ser devidamente verificado através de simulação numérica e física. O ângulo do recife foi, juntamente com a inclusão de plataforma, o cenário que obteve melhores resultados nos

ensaios de Ten Voorde (2010), numa análise geral dos parâmetros de surf adaptados ao nível de surf amador. Por essa razão, não se considerará, pelo menos nesta fase, a presença de uma plataforma, até porque a sua influência a nível de protecção costeira permanece, em larga medida, uma incógnita.

A extensão do talude lateral de rebentação fixa-se, inicialmente, em 40 metros em planta (valor aproximado, correspondente à largura do talude ao nível da base, para uma inclinação média de 1:10). O tardo da estrutura deverá apresentar uma inclinação muito acentuada, não só para assegurar a retenção dos sedimentos, como para atenuar o efeito das correntes de retorno (*rip currents*) sobre a secção final da linha de rebentação (*breaker line*). Nesse sentido, tomar-se-á o declive de 1:1, testado com sucesso por Van Ettinger (2005). Nesta fase ainda não se considerará o canal longitudinal centrado no eixo do recife, à semelhança de Narrowneck, sendo este o último aspecto a ter em conta no dimensionamento, dados os instrumentos de cálculo disponíveis para este trabalho. Assim, o “recife tipo” a utilizar como ponto de partida é apresentado, em planta, na figura abaixo, onde X_{st} representa o comprimento da crista do recife e θ_{rec} o ângulo da estrutura.

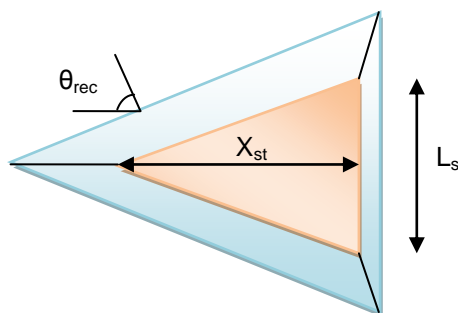


Figura 4.12 – Representação esquemática do “recife tipo”, em planta, e respectiva nomenclatura das dimensões associadas

O presente cálculo será efectuado tendo em conta os dois métodos expostos, enunciados em 2.2., a saber: as formulações de Black e Andrews (2001) e de Ranasinghe *et al* (2006). O peso atribuído a cada um dos métodos será semelhante, procurando-se atingir um ponto de equilíbrio entre ambos. Convém salientar a este propósito que, entre a documentação a que se teve acesso, raramente os dois métodos aparecem citados de forma simultânea. Este estudo encaminhar-se-á, ainda, no sentido de incorporar análises mais convencionais de previsão de resposta costeira, relativos a estruturas submersas, em consonância com a crítica apresentada no final de 2.4.

Com o intuito de fixar a distância da base do recife à costa, X , é necessário definir a largura da zona de surf, SZW. Segundo a definição proposta por Black, SZW é assim calculado através dos valores constantes na tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Definição da largura da zona de surf, SZW

H_{so} [m]	Ceof. Empolamento	H_b [m]	Inclinação média dos fundos	Parâmetro de rebentação	SZW [m]
3,0	1,1	3,3	1/58	0,78	245,38

O coeficiente de empolamento foi obtido através da expressão clássica (referida em *Teoria Linear – Solução de Airy*, Veloso Gomes, F. – FEUP). O valor da inclinação dos fundos resultou de uma média ponderada de diferentes inclinações para o local de implantação preferencial, tendo em conta o perfil batimétrico do local.

Na formulação de SZW proposta por Black e Mead (2007), e à falta de uma definição geométrica rigorosa da variável, assume-se no presente trabalho que se tratará da distância da “linha de costa” ao ponto em que a onda rebenta, segundo o respectivo nível da água considerado, tal como esquematizado na figura 4.13.

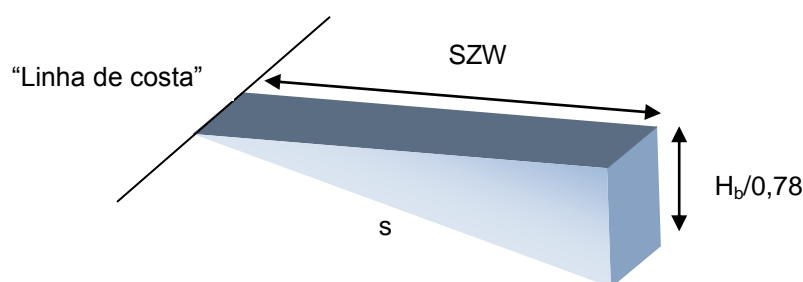


Figura 4.13 – Definição geométrica aproximada da zona de surf

O gráfico 4.1. apresenta valores de SZW para diferentes inclinações médias de praia (incluindo a do presente caso) em função da altura de onda, H_b . Verifica-se, como seria de prever, um aumento de SZW com a diminuição do declive dos fundos, o que implicará um maior afastamento do recife à linha de costa, para uma menor inclinação dos fundos de praia, no caso de se pretender maximizar a probabilidade de ocorrência de acreção.

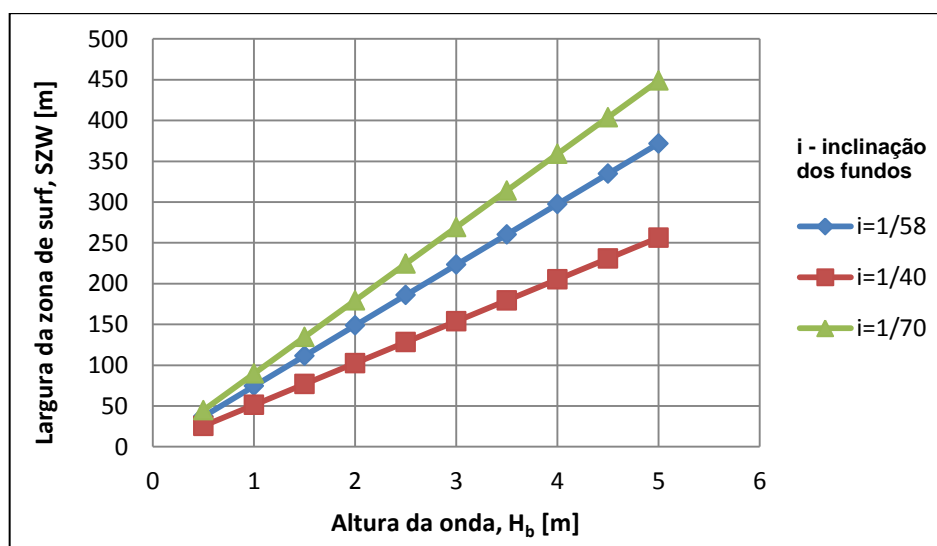


Gráfico 4.1. – Largura da zona de surf em função da altura da onda de rebentação

O valor obtido para SZW nas condições locais, pela formulação de Ranasinghe *et al* (2006), apresenta um efeito de protecção máximo para um S_a (distância do vértice do recife à linha de costa) igual ao seu dobro, no caso, 491 metros. Esta distância é exageradamente elevada, obrigando a que os surfistas se tenham de afastar demasiado da costa para “apanharem” a onda o que, embora seja exequível, não parece de todo aconselhável, por uma questão de segurança. Por outro lado, dificulta a observação dos praticantes da perspectiva de quem se encontra na praia, o que levanta problemas, por exemplo, num cenário de competição. Assim, o comprimento da estrutura (medido paralelamente à costa), L_s , tendo em conta a restrição imposta pelo ângulo do recife, terá de resultar num compromisso entre a eficácia de protecção e a manutenção da estrutura a uma distância não muito elevada. Muito embora os métodos prevejam, na sua generalidade, a melhoria da eficiência com o aumento da distância X (dentro de certos limites), convém ter o bom senso de se considerar que uma estrutura demasiado afastada da costa diminuirá a sua eficiência, tal como se verifica nos casos tradicionais de quebramares destacados. Contudo, uma estrutura colocada mais ao largo poderá revelar-se benéfica, na medida em que antecipe a rebentação das ondas de maior altura a uma distância apreciável, protegendo assim a zona costeira compreendida na sua faixa de influência. A implantação do recife fora da zona de rebentação poderá, ainda, melhorar a sua eficiência no que respeita ao surf pois, nessas condições, a estrutura encontrar-se-á instalada fora de uma zona de grande dinâmica de agitação, como é a *surf zone*. Trata-se, portanto, de um equilíbrio delicado.

Nesse sentido, calcularam-se diferentes valores para a razão das variáveis L_s e X , bem como a sua influência conjugada no valor de S_a , apresentados nas tabelas 4.8 e 4.9, respectivamente. Na tabela 4.8 os valores superiores a 0,6 encontram-se sombreados, já que pela relação de Black e Andrews (2001) resultam na formação de um tómbolo, o que, à partida, não é desejável para o surf, pois tal formação impediria a manutenção da dinâmica de correntes junto ao recife. Convém ainda referir que na tabela 4.9, S_a é dado através da soma de X com o comprimento da estrutura (segundo a direcção normal à costa), X_{st} , cujo valor, tendo em conta a restrição imposta pelo ângulo do recife e assumindo uma planta simplificada, por razões práticas, será dado pela relação trigonométrica 4.1. Também a sombreado, na tabela 4.8, surgem as distâncias de S_a superiores a 400 metros, uma vez que, a partir desse valor, o afastamento se torna indesejável pelas razões já mencionadas.

$$X_{st} = \frac{L_s}{2 \times \tan(90 - \theta_{st})} \quad (4.1)$$

Neste ponto, convém esclarecer que a fixação exacta das coordenadas do recife segundo a direcção da linha de costa é de todo impossível. Essa posição será então obtida, nesta fase, por aproximação, estando compreendida na área identificada pelo local 4 (ver planta numerada no anexo A2), um pouco mais a Sul, devido à ocorrência pontual de erosão na praia das Sereias (mencionado em 3.2.). Assim, a fixação exacta da área de instalação deverá ser averiguada numericamente, tendo ainda em conta eventuais perturbações resultantes da presença do pequeno esporão.

Tabela 4.8 – Razão entre o comprimento longitudinal do recife, L_s , e a distância da sua base à costa, X

L_s [m]	X [m]						
	180	190	200	210	220	230	240
90	0,50	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,38
100	0,56	0,53	0,50	0,48	0,45	0,43	0,42
110	0,61	0,58	0,55	0,52	0,50	0,48	0,46
120	0,67	0,63	0,60	0,57	0,55	0,52	0,50
130	0,72	0,68	0,65	0,62	0,59	0,57	0,54
140	0,78	0,74	0,70	0,67	0,64	0,61	0,58
150	0,83	0,79	0,75	0,71	0,68	0,65	0,63
160	0,89	0,84	0,80	0,76	0,73	0,70	0,67

Tabela 4.9 – Distância do vértice do recife à costa, S_a , dada em função do seu comprimento longitudinal, L_s , e a distância da sua base também à linha de costa, X

L_s [m]	S_a [m]						
	X [m]						
L_s [m]	180	190	200	210	220	230	240
	180	190	200	210	220	230	240
90	281,1	291,1	301,1	311,1	321,1	331,1	341,1
100	292,3	302,3	312,3	322,3	332,3	342,3	352,3
110	303,5	313,5	323,5	333,5	343,5	353,5	363,5
120	314,8	324,8	334,8	344,8	354,8	364,8	374,8
130	326,0	336,0	346,0	356,0	366,0	376,0	386,0
140	337,2	347,2	357,2	367,2	377,2	387,2	397,2
150	348,5	358,5	368,5	378,5	388,5	398,5	408,5
160	359,7	369,7	379,7	389,7	399,7	409,7	419,7

Através da análise das tabelas, é fácil constatar que o máximo L_s permitido pelas restrições é de 140 m, obtendo-se uma razão de 0,58. Como não se deve considerar uma solução que potencie a formação de um tómbolo, até porque o local escolhido apresenta já um fundo bem elevado na zona junto à costa, vai-se fixar L_s em 130 m, o que permite também um melhor ajustamento em termos da distância X . Para o referido comprimento normal do recife, o gráfico 4.2. devolve a dimensão da amplitude normal da saliência em função do afastamento, prevista por Black e Andrews (2001).

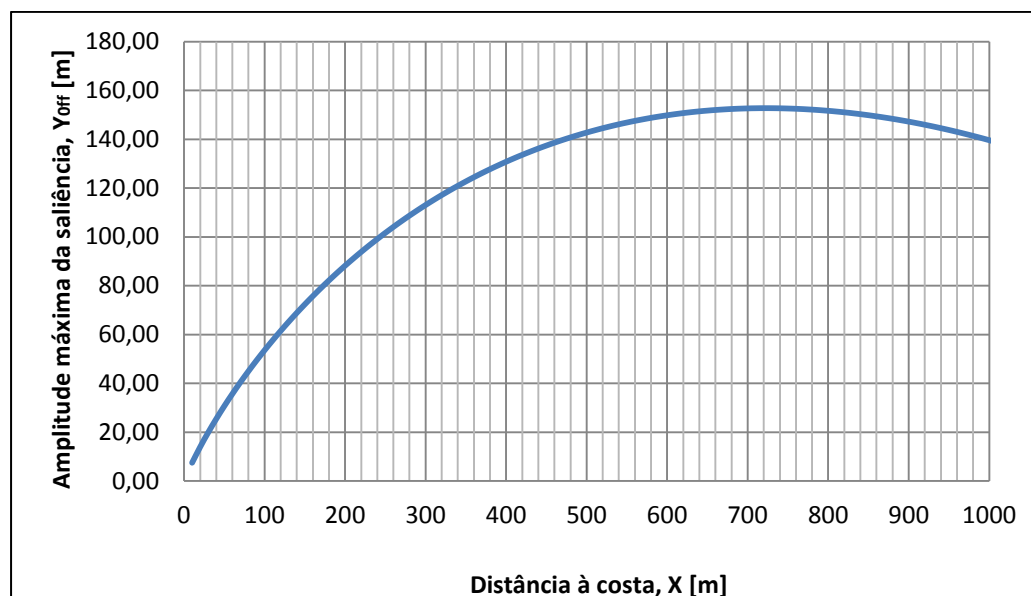


Gráfico 4.2. – Amplitude do vértice da saliência, Y_{off} , em função de X, de acordo com Black e Andrews (2001)

Na tabela 4.10 encontra-se sumarizada toda a informação relativa aos dois métodos aqui utilizados, em função do afastamento da estrutura à costa, tendo como base o comprimento L_s , de 130 m.

Após a análise da tabela referida optou-se por fixar X em 230 m relativamente à isóbata de referência, cotada a +2,0 m (ZH). Nestas condições, de onde se obtém uma razão L_s/X de 0,57, na eminência de formação de tómbolo (embora este tipo de ocorrência seja discutível, daí se ter considerado o limite superior), garante-se igualmente acreção pela relação de $S_a/SZW > 1,5$ mantendo, simultaneamente, uma distância razoável do vértice do recife à costa, cerca de 376 metros, perfeitamente compatível com as exigências de um local para o surf. A amplitude da saliência obtida para as referidas condições é de 96 metros, ao nível do vértice, prolongando-se por uma extensão longitudinal de praia de 772 metros. De referir que a 230 metros de distância, a profundidade dos fundos é pouco superior a 3 metros, o que, considerando que a cota da crista se encontra a +0,5 m (ZH), tal cenário resultará numa altura mínima da estrutura de pouco mais de 3,5 metros. Tendo em conta que a altura da estrutura sugerida por Ten Voorde (2010) é de cerca de 3,20 metros (muito embora tratando-se de um valor mínimo, obtido em condições algo diferentes), o valor de X adoptado parece, também desta perspectiva, prefigurar-se como uma boa opção.

Tabela 4.10 – Comparação de resultados obtidos pelos dois métodos

X (+2,0 ZH) [m]	Black e Andrews $0,1 < L_s/X < 0,6$	Y_{off} [m]	D_{tot} [m]	Ranasinghe et al $S_a/SZW > 1,5$	S_a [m]
70	1,86	40,47	323,75	0,88	216,0
80	1,63	45,02	360,17	0,92	226,0
90	1,44	49,39	395,09	0,96	236,0
100	1,30	53,58	428,65	1,00	246,0
110	1,18	57,62	460,95	1,04	256,0
120	1,08	61,51	492,07	1,08	266,0
130	1,00	65,26	522,08	1,12	276,0
140	0,93	68,88	551,05	1,17	286,0
150	0,87	72,38	579,04	1,21	296,0
160	0,81	75,76	606,08	1,25	306,0
170	0,76	79,03	632,23	1,29	316,0
180	0,72	82,19	657,53	1,33	326,0
190	0,68	85,25	682,00	1,37	336,0
200	0,65	88,21	705,69	1,41	346,0
210	0,62	91,08	728,61	1,45	356,0
220	0,59	93,85	750,81	1,49	366,0
230	0,57	96,54	772,29	1,53	376,0
240	0,54	99,14	793,09	1,57	386,0
250	0,52	101,65	813,22	1,61	396,0
260	0,50	104,09	832,71	1,65	406,0
270	0,48	106,45	851,57	1,70	416,0
280	0,46	108,73	869,82	1,74	426,0
290	0,45	110,93	887,47	1,78	436,0
300	0,43	113,07	904,55	1,82	446,0

Convém sublinhar que estas se tratam das dimensões preliminares da estrutura, a serem devidamente testadas em modelo numérico e físico (na sua configuração definitiva), de forma a controlar as exigências funcionais relativas ao surf. Nessa medida, variáveis tais como o ângulo e tipo de rebentação, altura de onda ao longo da *surf ride*, bem como a distância e respectivo tempo de percurso, são susceptíveis de modificação até certo ponto. A este propósito, interessa referir que o ângulo de rebentação variará ao longo do recife devido a fenómenos locais de concentração dos raios de onda e refração não linear, o que, de certa forma, é favorável à modalidade, uma vez que a maior parte dos praticantes aprecia uma certa variação das características da onda ao longo da linha de rebentação, criando secções diferentes e permitindo, assim, uma maior diversidade de manobras.

Acrescente-se ainda o facto de que as correntes de retorno, embora podendo interferir com a qualidade da onda surfável junto à base do recife, auxiliam, por outro lado, o surfista, quando se trata de este chegar junto ao ponto de largada (*take-off*), próximo do vértice da estrutura.

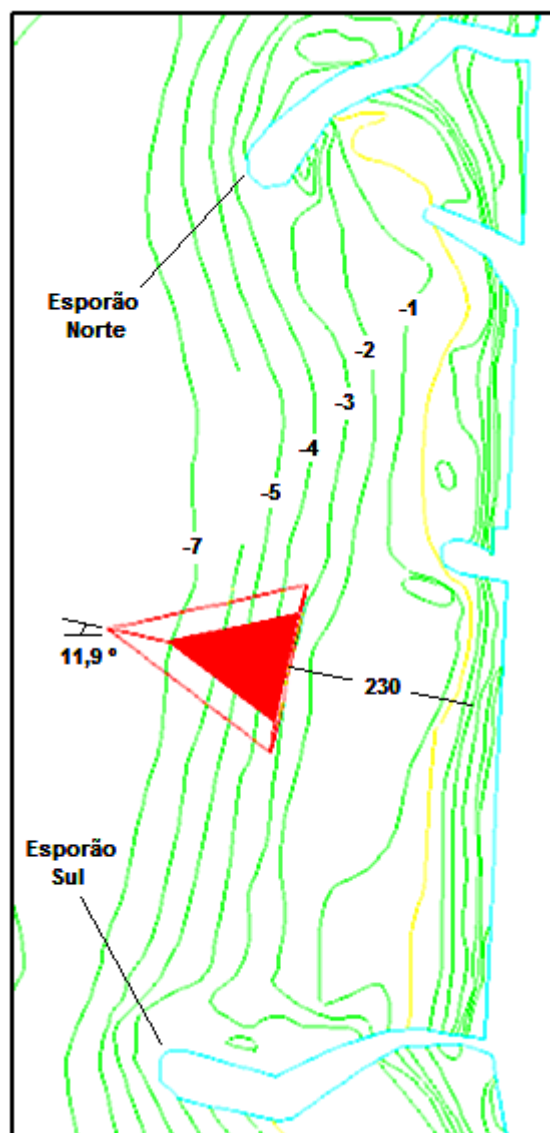


Figura 4.14 – Posicionamento em planta do recife multifuncional proposto para Espinho (cotas batimétricas ao ZH e dimensões em metros – representação esquemática, sem definição de escala)

Seria possível, no entanto, aproximar um pouco mais a base do recife da costa, mantendo fixa a posição do vértice ao largo (de forma a manter a relação S_a/SZW estável). Tal alteração permitiria, para além de aumentar a extensão da linha de rebentação, aproximar um pouco mais o recife da praia, o que eventualmente teria um efeito benéfico, embora nesta fase se tenha optado por não ultrapassar superiormente uma razão L_s/X de 0,6 (partindo do princípio de que se pretende uma estrutura de dimensões apreciáveis), maximizando-se, assim, a eficiência da estrutura por ambos os métodos. O limite permitido para essa razão seria de 1, valor a partir do qual, segundo Black, a compressão das correntes entre a base da estrutura e a costa poderá resultar em erosão. Esta consequência da aproximação excessiva do recife é também coerente com o proposto por Ranasinghe *et al* (2006), dado que, quando a relação entre S_a e SZW se torna inferior a 1, é previsível a ocorrência de erosão a sotamar da estrutura. Mais uma vez, essa aproximação não prejudicaria significativamente o comportamento hidrodinâmico do recife, mesmo considerando o deslocamento do vértice em relação à

costa, desde que se garantisse o cumprimento da relação proposta (razão compreendida entre 1 e 1,5). Convém ainda sublinhar a sensibilidade deste último método face à largura da zona de surf, SZW, cujo valor (num cenário hipotético de alteração da área de intervenção) deverá, naturalmente, ser recalculado para o novo local, o que conduzirá a uma variação na distância “ótima” de posicionamento da estrutura, a qual se poderá revelar significativa. Sendo esta uma variável condicionante, mas simultaneamente preponderante no contexto desta metodologia, deve-lhe ser prestada especial atenção pois, estando dependente da altura de onda, variará facilmente com uma modificação local nas condições globais de agitação.

Em síntese, o que se pretendeu neste ponto foi, então, maximizar a eficiência de protecção costeira, acautelando as exigências relativas ao surf, pelo que as opções tomadas se parecem revelar ajustadas em primeira análise.

4.3.1.2. Orientação da estrutura

O conhecimento do ângulo de incidência das ondas sobre o recife é um factor de relativa importância, na medida em que influenciará directamente o ângulo de rebentação. Nesse sentido, e com o intuito de descrever a trajectória do raio de onda, considerar-se-á a teoria de refacção linear, em que a equação de dispersão relaciona a celeridade local, c_w , em função de L_0 , T , o número de onda, k , e a profundidade local, h , apresentada na equação 4.2.

$$c_w = \frac{L_0}{T} \tanh kh \quad (4.2)$$

Tratando-se esta equação em conjugação com a lei de Snel, obter-se-á o ângulo de incidência de agitação para diferentes valores de profundidade, tomando a forma da relação 4.3. Os índices w e 0 representam os parâmetros citados, respectivamente, nas suas condições locais e em profundidade, excepção feita a $\theta_{r,i}$, notação aqui adoptada para o ângulo pontual da onda refractada; θ_0 indica, naturalmente, o ângulo de incidência da agitação predominante ao largo, no caso de 45° , correspondente à agitação de Noroeste (NW), de acordo com o definido em 3.5.

$$\theta_{r,i} = \frac{\arcsen(c_w \times \sin \theta_0)}{c_0} \quad (4.3)$$

Esta forma de prever a refacção da onda constitui uma aproximação simplificada, mas dada a interdependência entre as inúmeras variáveis em jogo num projecto desta natureza, considera-se suficiente no contexto de pré-dimensionamento.

Na tabela 4.11 são apresentados os valores do comprimento de onda e celeridade locais, bem como o do ângulo da onda refractada, obtidos para diferentes profundidades; L_0 e T tomam aqui os valores característicos mais frequentes, de 188 m e 11 s, respectivamente, tal como definido em 3.5.

Tabela 4.11 – Ângulo local de refração de onda, $\theta_{r,i}$, em função do comprimento de onda e celeridade locais, L_w e c_w , respectivamente, para diferentes níveis de profundidade, h_c

h_c [m]	L_w [m]	c_w [m/s]	$\theta_{r,i}$ [°]
12	111,37	6,51	15,6
11,5	109,35	6,27	15,0
11	107,27	6,02	14,3
10,5	105,11	5,77	13,7
10	102,88	5,51	13,1
9,5	100,57	5,25	12,5
9	98,18	4,99	11,9
8,5	95,69	4,73	11,2
8	93,11	4,46	10,6
7,5	90,41	4,20	10,0
7	87,60	3,93	9,3
6,5	84,66	3,66	8,7
6	81,57	3,38	8,0
5,5	78,32	3,11	7,3
5	74,89	2,83	6,7
4,5	71,25	2,55	6,0
4	67,37	2,27	5,4
3,5	63,20	1,99	4,7
3	58,68	1,71	4,0
2,5	53,72	1,42	3,4
2	48,18	1,14	2,7
1,5	41,84	0,86	2,0

Por uma questão de simplificação, tomou-se o valor do ângulo de incidência ao nível do vértice da crista do recife. Assim, tendo em conta que o posicionamento da estrutura em planta prevê a localização desse ponto, em projecção, a aproximadamente -7,0 m (ZH) e adicionando 2 metros de forma a obter o nível médio de referência, o eixo do recife estará orientado com um desvio aproximado de 11,9°, correspondente ao ângulo refractado à profundidade de 9 metros. Caso se tivesse optado por uma incidência ao largo de, por exemplo, oés-Noroeste (WNW), a diferença de inclinação do recife seria ligeiramente alterada, assumindo o valor de 6,4°, nas condições supracitadas. Contudo, sendo nulo o impacto que essa diferença surtiria ao nível do surf (no contexto isolado de uma única direcção de raio de onda), julga-se mais apropriado, pelo menos nesta fase, privilegiar o cenário com a maior inclinação possível (de entre as direcções mais frequentes), de modo a agravar os resultados obtidos ao nível da protecção costeira, majorando assim o ângulo de incidência oblíqua da agitação sobre a estrutura. Segundo Ranasinghe *et al* (2006), o grau de resposta nestas condições altera-se, com um decréscimo de eficiência.

O facto de se ter considerado o vértice do recife como referência neste cálculo (e dada a profundidade a que a onda encontra a estrutura, com consequente aumento da celeridade local para profundidades crescentes), poderia antever a ocorrência de velocidades V_s bastante elevadas, algo que, em todo o caso, seria atenuado pelo aumento da altura de onda devido ao fenómeno de *wave focusing*. Um

cálculo expedito considerando um ângulo de rebentação médio de 40°, resulta numa velocidade de 7,8 m/s ao nível do vértice do recife, o qual se revela um valor perfeitamente aceitável para a *surf ride* (consultar o gráfico da figura 2.15, com as isolinhas definidas por Walker, 1974), mesmo na zona de *take-off*, onde uma velocidade um pouco mais elevada acaba por favorecer a “largada” dos praticantes. Por outro lado, analisando ainda o projecto de Narrowneck, o qual previa uma profundidade máxima do recife de 12 metros (vértice ao largo), julga-se razoável, por comparação, a presente configuração da estrutura, devendo-se acautelar o facto de esta condição estar intimamente associada à restante geometria da estrutura, no que respeita à obtenção de ângulos de rebentação e alturas de onda apropriadas (especialmente à definição das inclinações ortogonais dos taludes). Numa análise em modelo numérico deve-se prestar a máxima atenção a esta última situação.

4.3.2. DEFINIÇÃO DO PERFIL TRANSVERSAL

Definida a estrutura em planta torna-se necessário dotá-la de características optimizadas para a prática de surf. Este aspecto, estando intimamente ligado à inclinação do talude, de importância crucial na forma de rebentação (quer pelo parâmetro de semelhança de Battjes (1974), quer pelo método investigado por Black e Mead (2001), o qual tem em conta a intensidade de rebentação), encontra-se, no presente caso, condicionado por um factor mais fundamental – a profundidade de rebentação. Com efeito, tendo em conta a relativamente elevada amplitude de maré local, torna-se difícil definir um perfil transversal compatível com uma gama alargada de ondas, susceptíveis de rebentar nas condições optimizadas em diferentes níveis de maré.

Com efeito, a maior parte dos projectos realizados até à data situam-se em locais de amplitude de maré reduzida, comparativamente com o que ocorre na costa Oeste portuguesa, o que possibilita, dessa forma, a definição de diferentes inclinações de talude, não só para diferentes alturas de onda, mas igualmente diferentes níveis de maré. No caso presente essa situação revela-se mais problemática.

O método aqui adoptado na definição do perfil transversal do recife constitui uma repescagem de diversos resultados, obtidos por diferentes autores, e adaptados à realidade do local de estudo.

Ten Vorde (2010), no âmbito do seu trabalho, considera um nível de maré fixo, alertando para o facto de os seus resultados variarem perante a adopção de outros níveis de água. A autora afirma mesmo que o cálculo da estrutura para um só nível de maré pode ser, por si só, um dos critérios de dimensionamento. Sugere ainda, após a investigação em modelo físico, um talude com a inclinação de 1:10, tal como já referido em 2.3. No entanto, tendo por finalidade a optimização da intensidade de rebentação para diferentes condições (no caso, diferentes alturas de onda ao mesmo nível de maré) tentou-se, de forma iterativa, criar um talude com diferentes inclinações, de modo a obter um perfil convexo (*convex shaped profile*) sugerido por Black e Blenkinsopp (2002), e citado por Hearin (ASR, 2008).

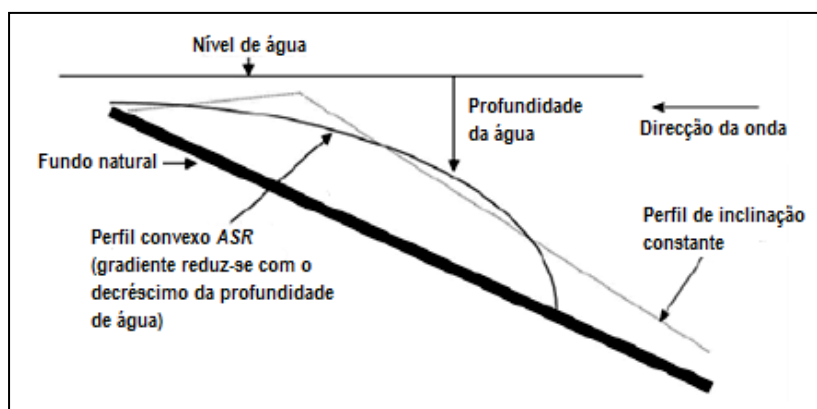


Figura 4.15 – Perfil convexo proposto por Black e Blenkinsopp, 2002 (adaptado de Hearin – ASR, 2008)

Na tentativa de simplificar as condições de cálculo partiu-se, então, do nível médio de maré definido a +2,0 m (ZH). A cota da crista é fixada a +0,5 m (ZH) sendo, aparentemente, a mais apropriada em termos de compatibilização da eficiência de protecção da estrutura com as características propícias ao surf (não sendo, além disso, demasiado intrusiva em termos paisagísticos). Saliente-se, novamente, que deve existir uma altura de submergência mínima que se prende com a segurança dos praticantes, para além de que, em níveis de maré muito elevados, as condições para o surf se tornam quase inacessíveis a amadores, devido a uma diminuição do ângulo de rebentação, por força do aumento da celeridade em profundidades crescentes. A submergência, S , resulta assim em 1,5 m, o que vai ao encontro do proposto por Ten Voorde (2010), além de que, tendo em conta outros projectos semelhantes, parece um valor perfeitamente aceitável.

O número de Irribarren (*inshore*) pretendido deve ser fixado tendo presente o facto de as melhores ondas “surfáveis” se encontrarem no intervalo de 0,6 a 0,9 (Henriquez, 2004), sendo 0,6 preferível na zona de *take-off*. De modo a maximizar a gama de alturas de onda e respectivos períodos associados (para a mesma inclinação, o parâmetro cresce com o aumento do período e diminuição da altura de onda) procurou-se uma gama de inclinações que devolvesse valores equilibrados para os diferentes cenários de rebentação. Convém sublinhar que, nesta fase, ξ_b é dado em função dos contornos normais do recife, de modo a facilitar os cálculos.

O gráfico 4.3 apresenta a variação de ξ_b em função da altura de onda para diferentes inclinações de talude. No cálculo considerou-se o período médio de 11 s.

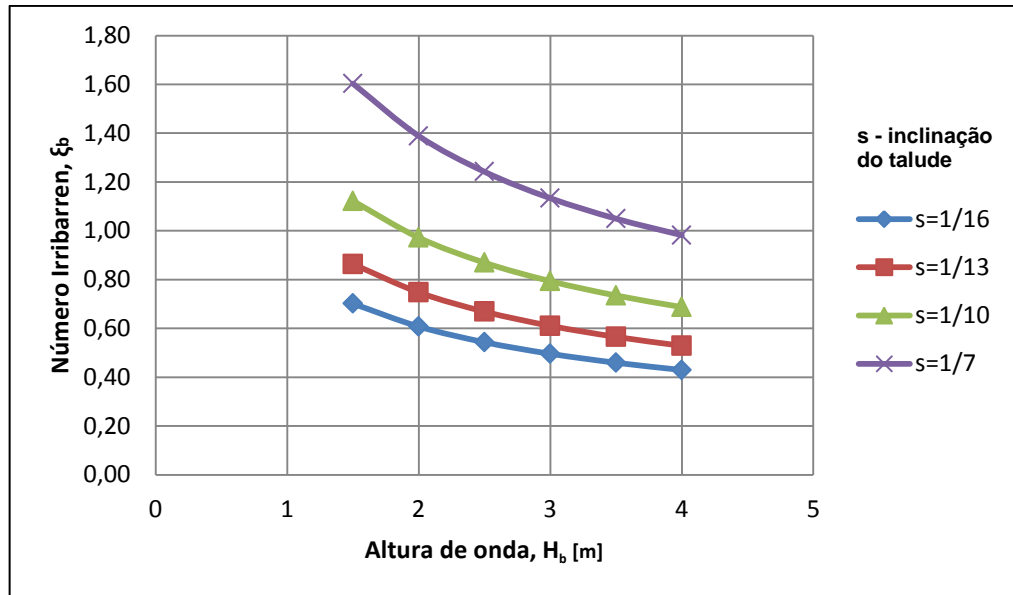


Gráfico 4.3 – Número de Irribarren *inshore*, ξ_b , dado em função da altura de onda que rebenta sobre o recife, H_b , para diferentes inclinações de talude, s

Pela análise do gráfico 4.3 é já possível concluir que, para a generalidade das alturas de onda consideradas “surfáveis” (2 a 4 metros, aproximadamente), os declives do talude se devem encontrar entre 1/13 e 1/10. Para estas condições de agitação a gama de inclinações é, portanto, limitada. Por outro lado, verifica-se que para a altura mínima expectável de onda de qualidade (próxima dos 2 metros), o parâmetro médio se encontra próximo de 0,8, tomando-se este, então, como o valor de referência.

Seguidamente, há que considerar a profundidade de rebentação, a qual, para ondas que rebentam sobre declives mais acentuados, será descrita, por exemplo, usando o critério de rebentação dado pela relação de Kaminsky e Kraus (1993), citado de Ten Voorde (2010), e apresentado em 4.4, onde ξ_∞ representa o parâmetro de rebentação em águas profundas.

$$\gamma_b = 1,20\xi_\infty^{0,27} \quad (4.4)$$

Neste ponto, surge também a hipótese de usar o ábaco da Figura II-4-2 do CEM (USACE, 2002). Este ábaco foi produzido através de ensaios laboratoriais com ondas monocromáticas realizado por Weggel (1972). Contudo, por comparação dos dois critérios pôde constatar-se que as diferenças não são muito acentuadas, optando-se pela relação descrita em 4.4., na medida em que simplifica os cálculos fazendo depender este parâmetro directamente do número de Irribarren.

Seguidamente, fixando o valor do número de Irribarren, consecutivamente, em 0,8 e 0,7, de forma a aumentar a extensão horizontal de cada secção (por força da diminuição da inclinação) uma vez que, por hipótese, a qualidade da onda aumentará com um acréscimo da extensão da secção do declive

sobre o qual aquela rebenta, calculou-se o declive “ótimo” a usar para cada altura de onda, com o auxílio dos gráficos 4.4. e 4.5. A notação geométrica usada apresenta-se esquematizada na figura 4.16.

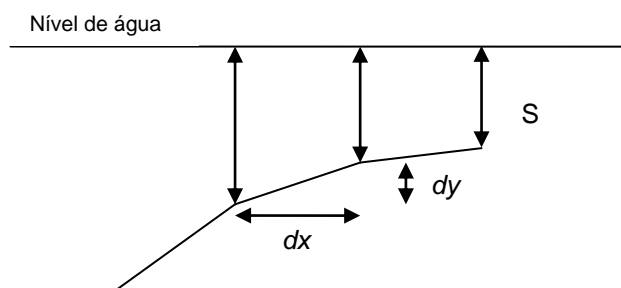


Figura 4.16 – Perfil convexo do recife

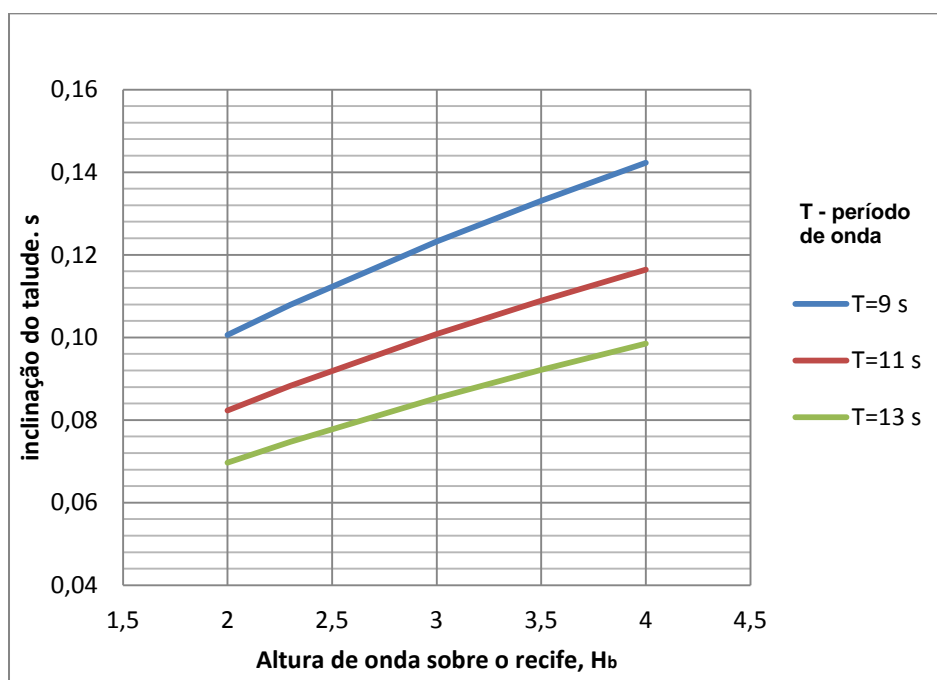
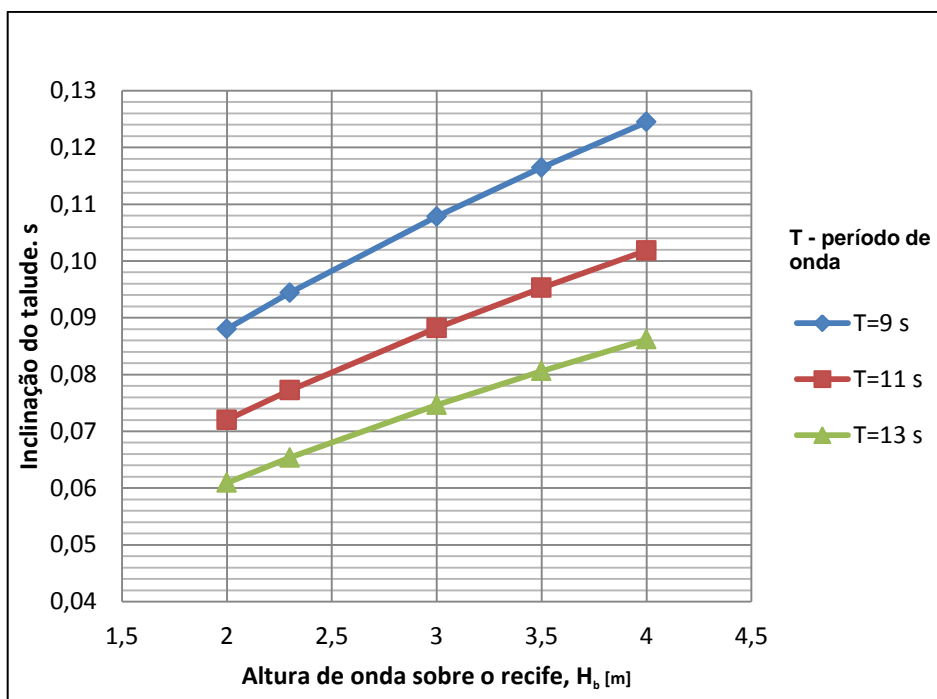


Gráfico 4.4. – Inclinação do talude em função da altura de onda, considerando $\xi_b=0,8$

Gráfico 4.5. – Inclinação do talude em função da altura de onda, considerando $\xi_b=0,7$

Na tabela 4.12 é calculada uma geometria do talude aproximada para os dois cenários distintos, contemplando os parâmetros de rebentação mencionados, onde d_b representa a profundidade de rebentação, dada pelo critério de Kaminsky e Kraus (1993), dy a distância segundo o eixo vertical para cada secção do talude (a primeira é dada pela diferença à submergência, S , de 1,5 m), s a inclinação da secção e dx o prolongamento horizontal da mesma.

Tabela 4.12 – Cálculo do gradiente normal do talude

H_b [m]	$\xi_b=0,8$				$\xi_b=0,7$			
	d_b [m]	dy [m]	s	dx [m]	d_b [m]	dy [m]	s	dx [m]
2	1,77	0,27	0,08	3,37	1,83	0,33	0,08	4,19
3	2,65	0,88	0,10	8,85	2,75	0,92	0,09	10,19
4	3,54	0,88	0,12	7,37	3,67	0,92	0,10	9,17
	$h_{tal,vert}$	2,04	$L_{tal,horiz}$	19,60	$h_{tal,vert}$	2,17	$L_{tal,horiz}$	23,55

Como é possível constatar pelos resultados apresentados na tabela 4.12, as dimensões das secções não aumentam de forma significativa com a alteração de ξ_b , pelo que se optou por manter o valor do parâmetro em 0,8, otimizando-se, dessa forma, a rebentação para as condições globais de agitação do nível de maré “ótimo” adoptado. Esta é, no entanto, uma decisão a ponderar na posse de dados de computação face a um perfil convexo integral. A altura e extensão do talude aqui calculados são simplesmente valores aparentes, uma vez que a estrutura foi calculada desde a cota da crista até à

profundidade máxima correspondente à onda de 4 metros e, por conseguinte, esses valores irão necessariamente aumentar à medida que a estrutura se intersecta com o fundo.

O facto de se considerar um perfil convexo deve ainda ser analisado tendo em conta os custos, por comparação com um talude simples de inclinação constante, acautelando-se a fixação de um valor mínimo para o comprimento do perfil, o qual deve permitir que a onda “sinta” o recife.

Embora a determinação dos gradientes ortogonais, dada a sua complexidade, seja somente levada a cabo através de simulação numérica, na tabela 4.13 apresentam-se valores de intensidade de rebentação, B_i (*breaking intensity*), para os ângulos de rebentação expectáveis no recife, tendo em conta os declives segundo a direcção normal para o perfil hipotético analisado acima.

Tabela 4.13 – Intensidade de rebentação em função do ângulo de rebentação, para o perfil calculado

H_b [m] (N_{dim})	s_{nor}	α [°]			
		30	40	50	60
2	0,08	1,8	1,9	2,1	2,4
3	0,1	1,6	1,7	1,8	2,1
4	0,12	1,4	1,5	1,7	1,9

Verifica-se, claramente, uma preponderância de grandes intensidades de rebentação, decrescendo progressivamente com o aumento do ângulo de rebentação e a diminuição da altura de onda, pelo que fica evidenciado ser aconselhável entrar em linha de conta com o gradiente ortogonal, por forma a controlar de forma mais eficiente a rebentação da onda, definindo-se desta forma com mais precisão o domínio de utilizadores do recife.

4.3.3. CONFRONTAÇÃO COM MÉTODOS CLÁSSICOS DE PREVISÃO

Encontrando-se a estrutura definida, submeteu-se a configuração obtida às formulações descritas para estruturas submersas convencionais (ponto 2.2.2), no sentido de aumentar a margem de confiança e de validar dos métodos usados em 4.3.1.1, no contexto das condições locais.

Assim, contemplando algumas das formulações mencionadas em 2.4.2., a tabela 4.14 apresenta as relações que se prendem com algumas validações directas das condições de funcionamento da estrutura.

Tabela 4.14 – Relações de validação para efectividade de protecção costeira

1.	Dattatri $H_s/d > 0,6$	0,4	KO
2.	Tanaka $-1 < R_c/H_o < 1$	-0,75	OK
3.	Min (h/d) = 0,7/0,8	0,73	OK
4.	Min (L/B _{eq}) = 3 a 4	3,9	OK
5.	Lyzlov $H_s/L_0 < 0,05$	0,0106	OK

Como se pode verificar, só o critério 1, referente à altura relativa da estrutura face à onda significativa, não é cumprido. Assim, a profundidade livre de coroamento relativa (2.), grau de submersão (3.), comprimento de onda relativo (4.) e declividade máxima de onda permitida (5.), encontram-se nos intervalos de valores aconselhados.

Quanto às formulações apresentadas em função do afastamento relativo, a relação de Talent (1986) é dada pela razão simples entre X e L_s , ao passo que a de Pilarczyk (2003b) compreende já o cálculo do coeficiente de transmissão, K_t , embora deva ser aplicada com precaução, dada a escassez de dados que permitam a sua generalização a estruturas em condições de submersão. Para o cálculo de K_t optou-se pela relação de D'Angremond *et al* (1996) corrigida por Briganti *et al* (2003), citado em Pereira (2008), e de Van der Meer (Delos, 2003b). Esta escolha prende-se com o facto de nenhuma destas fórmulas estar escrita em função do D_{n50} , uma vez que se trata de uma estrutura predominantemente lisa e impermeável. Refira-se que a largura da crista da estrutura, B , por não tomar a sua forma convencional, e por haver falta de outros elementos, foi aqui adaptada numa forma equivalente (B_{eq}), correspondente a 1/3 da extensão normal da crista do recife, X_{st} , estando-lhe, nestas condições, associado um ângulo de incidência de agitação de 80,1° (considerando-se como aproximação o valor de $\theta_{r,i}$ a uma profundidade de 6,5 m, tal como apresentado na tabela 4.11). O coeficiente H_b/H_o foi aqui tomado com um valor médio de 1,3, dadas as variações que a altura de onda experimenta ao longo do recife, ainda dependente da sua configuração geométrica e profundidade de implantação. Nos ensaios de Ten Voorde (2010), com ondulação de 1,5 metros ao largo, as ondas rebentavam entre 1,7 e 2,7 m, aproximadamente (dependendo das condições da estrutura), pelo que, numa análise geral como esta, se considera um valor aceitável.

Tabela 4.15 – Dados para o cálculo de K_t

Formulação	H_s [m]	T [s]	ξ_b	ξ_{op}	B_{eq} [m]	β [°]	R_c [m]	K_t
Briganti	3,0	11	NA	0,79	48,66	NA	-1,5	0,198
Delos	3,0	11	0,70	NA	48,66	81,3	-1,5	0,105

Interessa ainda referir que a expressão usada para a formulação corrigida por Briganti *et al* (2003) corresponde à expressão 4.5, definida para uma razão B/H_i superior a 10 (no caso 48,66 m), além de que o K_t mínimo se encontra dentro do intervalo de validação, definido inferiormente por K_{u1} de 0,05 e superiormente por K_{u2} , dado por $-0,006(B/H_i) + 0,93$ (tomando aqui o valor de 0,833).

$$K_t = -0,35 \frac{R_c}{H_i} + 0,51 \left(\frac{B}{H_i} \right)^{-0,65} (1 - e^{-0,41\xi_{op}}) \quad (4.5)$$

Verifica-se, através da análise da tabela 4.16 que, por um lado, a formulação de Talent (relativa à capacidade de retenção de sedimentos a sotamar da estrutura) não é cumprida para afastamentos superiores a aproximadamente 100 metros, facto que, tendo em conta as múltiplas condicionantes impostas à estrutura, não se revela alarmante no contexto de dimensionamento do recife. Convém lembrar que os processos hidrodinâmicos de estruturas submersas convencionais comparativamente a um recife multifuncional são substancialmente diferentes, o que fará com que se verifiquem incompatibilidades entre métodos contemplando os cenários separadamente. Por outro lado, a relação de Pilarczyk (2003b) revela-se já mais satisfatória, sobretudo com a opção pela formulação de K_t de Briganti *et al* (2003), e muito embora não seja referido um limite para ausência de resposta, as razões obtidas para formação de saliência são inferiores a 1 para a gama de valores considerados, mesmo tomando o valor médio de 230 metros somado de metade da largura da crista equivalente, resultando em 254,33 m (eixo longitudinal hipotético do recife), de onde se obtém uma relação 0,58 e 0,65, pela ordem de K_t apresentada na tabela. O K_t obtido da informação relativa ao projecto Delos (2003b) revela-se, compreensivelmente, o mais exigente, uma vez que entra em conta com a incidência oblíqua, sendo que o facto de, ainda assim, devolver bons resultados, acabar por ser um bom indicador.

Tabela 4.16 – Comparação entre formulações relativas a estruturas destacadas submersas e RAM

X +2,0 (ZH)	Pilarczyk $L_s(1-K_t)/X < 1$		Black e Andrews $0,2 < L_s/X < 0,6$	Talent X/L_s até 0,8	Ranasinghe et al $S_a/SZW > 1,5$
	K_t (Delos)	K_t (Briganti <i>et al</i>)			
90	1,29	1,16	1,44	0,69	0,96
100	1,16	1,04	1,30	0,77	1,00
110	1,06	0,95	1,18	0,85	1,04
120	0,97	0,87	1,08	0,92	1,08
130	0,89	0,80	1,00	1,00	1,12
140	0,83	0,74	0,93	1,08	1,17
150	0,78	0,69	0,87	1,15	1,21
160	0,73	0,65	0,81	1,23	1,25
170	0,68	0,61	0,76	1,31	1,29
180	0,65	0,58	0,72	1,38	1,33
190	0,61	0,55	0,68	1,46	1,37
200	0,58	0,52	0,65	1,54	1,41
210	0,55	0,50	0,62	1,62	1,45
220	0,53	0,47	0,59	1,69	1,49
230	0,51	0,45	0,57	1,77	1,53
240	0,48	0,43	0,54	1,85	1,57
250	0,47	0,42	0,52	1,92	1,61
260	0,45	0,40	0,50	2,00	1,65
270	0,43	0,39	0,48	2,08	1,70

Seguidamente, testou-se o mesmo cenário para diferentes alturas de onda incidentes, variando de 1,0 a 4,0 metros. Os resultados apresentam-se na tabela 4.17.

Tabela 4.17 – Resposta da linha de costa segundo a formulação de Pilarczyk variando a altura de onda incidente

	X +2,0 (ZH) [m]	Pilarczyk	
		$L_s(1-K_t)/X < 1$	
		K_t (Delos)	K_t (Briganti <i>et al</i>)
Hi=1,0 m	220	0,46	0,27
	230	0,44	0,26
	240	0,42	0,25
Hi=2,0 m	220	0,51	0,42
	230	0,49	0,40
	240	0,47	0,39
Hi=4,0 m	220	0,54	0,50
	230	0,52	0,48
	240	0,49	0,46

Conclui-se assim, pela análise da tabela 4.17, que os intervalos de resultados não são significativos, apresentando somente diferenças mínimas, e sendo que para a totalidade das condições de agitação testadas o cenário se mantém estável, com limites de resposta inferiores a 1. Desse modo, não será excessivo considerar que as dimensões e valores calculados para a estrutura obtêm um bom desempenho quando estudadas à luz deste método.

Nesta fase de averiguação, pode ainda considerar-se a previsão de “resposta” fisiográfica a sotamar da estrutura a partir do CEM (USACE), o qual apresenta numerosas teorias. Estas compreendem uma vasta gama de razões (L_s/X) para formação de tômbolo e saliência, reproduzidas na tabela 4.18 de forma sintetizada, tal como apresentado em Hearin (ASR, 2008).

Tabela 4.18 – Resposta de linha de costa a sotamar de uma estrutura destacada (adaptado de Hearin – ASR, 2008)

Tipo de Resposta	L_s/X	Valor Médio (L_s/X)
Tômbolo	$> 0,67 - 2,5$	$> 1,5$
Saliência	$0,4 - 1,5$	0,8
Ausência de resposta	$\leq 0,125 - 0,5$	$< 0,25$

Atendendo a que a razão adoptada foi de 0,57 é esperada a formação de saliência, embora se encontre perto do limite inferior para a ocorrência de acreção.

Ainda no CEM (USACE, 2002), é apresentado um índice de resposta da praia, I_s , desenvolvido por Ahrens e Cox (1990), cuja formulação e correspondência em termos de “resposta” fisiográfica se encontram representados na expressão 4.6 e tabela 4.19, respectivamente.

$$I_s = e^{(1,72 - 0,41 \times L_s/X)} \quad (4.6)$$

Tabela 4.19 – Tipo de resposta morfodinâmica em função de I_s , por Ahrens e Cox, 1990 (adaptado de CEM – USACE, 2002)

Tipo de Resposta	I_s
Tômbolos Permanentes	1
Tômbolos Periódicos	2
Saliências Bem Desenvolvidas	3
Saliências Subjugadas (<i>Subdued Salients</i>)	4
Ausência de Resposta	5

Novamente, aplicando a razão L_s/X de 0,57, I_s assume o valor de 4,42. À semelhança do verificado na análise anterior, a resposta encontra-se perto do limite inferior de formação de saliência.

Convém mais uma vez salientar que estas formulações não são totalmente adaptáveis à situação em estudo, sendo contudo previsível que, no cômputo geral, a estrutura venha a ter um impacto benéfico na defesa da zona abrangida pelo seu raio de acção, resultando no alargamento da praia.

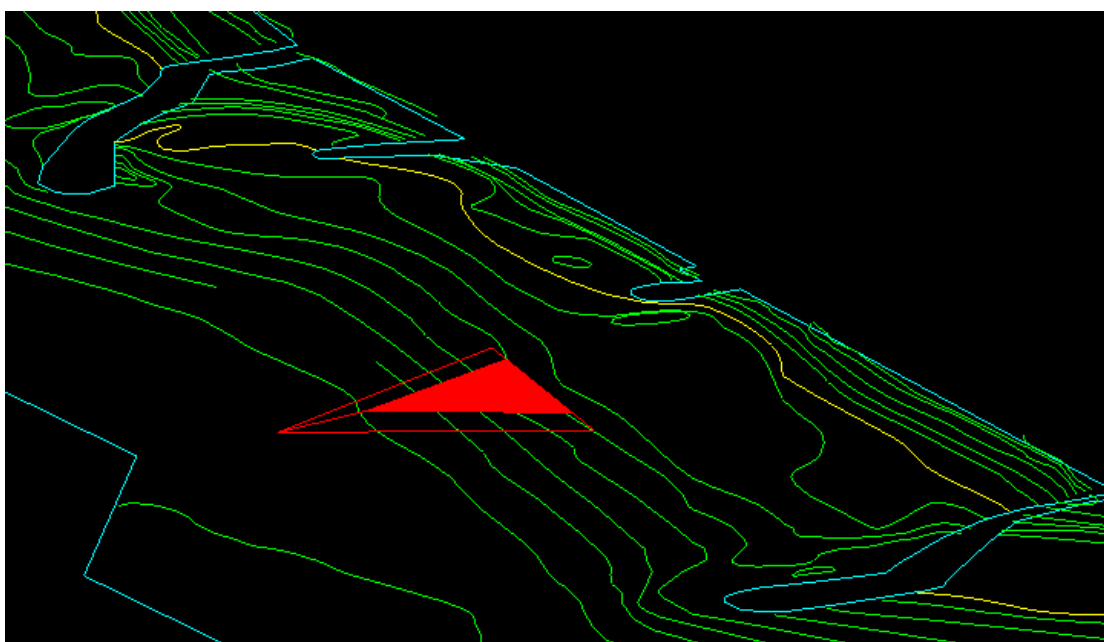


Figura 4.17 – Vista 3D da configuração aproximada do recife (representação esquemática, com escala vertical distorcida)

5

CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS AO TRABALHO REALIZADO

Foi evidenciado que a instalação de um recife artificial multifuncional poder-se-á constituir como uma alternativa benéfica, tanto ao nível da defesa da costa (em zonas pontuais de ocorrência de erosão), como na sua vertente recreativa, maioritariamente direccionada à prática de surf. Outros benefícios resultantes de uma obra desta natureza (e frequentemente citados na literatura) poderão compreender uma melhoria das condições balneares, como resultado do aumento da largura da praia numa zona localizada, criação de melhores condições para os banhistas, nomeadamente através do efeito de abrigo sobre zonas de mergulho e, ainda, um incentivo à pesca subaquática de carácter recreativo. Com efeito, a criação de um habitat propício à fixação de fauna e flora marinhas tem sido também frequentemente documentada em todas as obras semelhantes, compreendendo a construção em materiais geossintéticos.

No que toca à eficiência da estrutura ao nível da defesa da costa, os instrumentos técnicos aos quais foi possível aceder revelaram-se congruentes para determinadas condições de localização e configuração do recife, notando-se uma certa incompatibilidade em circunstâncias maioritariamente ditadas pela funcionalidade da estrutura ao nível do surf. Algumas variáveis revelaram-se bastante sensíveis às condições do local de implantação, acrescendo-se ainda o facto de os instrumentos usados neste trabalho, no âmbito da protecção costeira, serem de aplicação essencialmente direccionada a locais de condições marítimas diversas das presentemente estudadas. Por outro lado, a análise do recife tendo em conta métodos aplicados a estruturas destacadas mais recorrentes (essencialmente submersas e parcialmente submersas) revelou-se satisfatória na maioria dos casos, ressaltando-se as devidas cautelas inerentes ao impacto e modo de funcionamento distinto destas estruturas relativamente aos RAM. Tendo igualmente em conta a submersão da estrutura, com o respectivo grau de incerteza associado à previsão da resposta costeira resultante da sua fixação, e considerando ainda a significativa amplitude de maré verificada na costa portuguesa, não será expectável que um RAM proporcione um grau de defesa costeira local semelhante a uma obra pesada, tal como os esporões já existentes ao longo da faixa costeira do concelho. Com efeito, o seu modo de funcionamento compreende um raio de acção limitado, o que, se por um lado é limitativo, poderá não afectar tão significativamente o transporte de sedimentos para Sul, assim que seja atingida a situação de equilíbrio. Deve, portanto, ser uma opção a considerar em zonas mais ou menos estabilizadas, com ocorrência pontual de erosão, bem localizada e de âmbito restrito. Acresce-se ainda o facto de o seu

impacto visual não ser de todo comparável ao de uma obra emersa tradicional, o que constitui claramente um benefício em termos paisagísticos.

Ficou também demonstrado, através da análise dos inquéritos realizados no âmbito deste trabalho, que a generalidade dos esporões construídos em Espinho afectou positivamente as condições existentes para o surf local (tal como já constatado por alguns autores, noutros contextos), o que vem enfatizar a ideia de que, futuramente, o dimensionamento deste tipo de estruturas poderá contemplar a prática da modalidade, tomando em conta o fenómeno de difracção e refracção sobre os fundos reajustados à sua presença, podendo constituir-se, desse modo, como uma alternativa ao caso de estudo, a qual deve ser analisada em função do não comprometimento de outras funcionalidades, tais como a defesa costeira. Comparativamente a um esporão, por exemplo, e tendo em conta o contexto local, as vantagens dos RAM nos aspectos relacionados com o surf passam, essencialmente, pela instalação de um fundo fixo, factor particularmente relevante nas praias de fundos arenosos existentes no concelho, as quais inviabilizam com alguma frequência a prática da modalidade, para além de, consoante as circunstâncias da zona de instalação, permitirem a criação de dois sentidos de rebentação (esquerdas e direitas), com o acréscimo de um maior controlo obtido sobre todos os aspectos relativos à modalidade.

Ficou ainda evidenciado, se bem que numa análise preliminar, que o RAM em forma de delta (quer na sua configuração típica, quer numa adaptação, como o de Narrowneck) revela uma preponderância clara ao nível da adequação ao local em estudo, face a outras soluções. Algumas das hipóteses levantadas podem ser ainda merecedoras de atenção noutra fase de estudo, na posse de mais dados técnicos, nomeadamente as que se reportam ao quebramar misto e ao recife do tipo Boscombe. Por outro lado, uma das premissas de que se partiu para o presente estudo consistia na atribuição de um grau de relevância idêntico a cada uma das vertentes analisadas – surf e defesa costeira –, pelo que a alocação de pesos diferenciados a cada uma das funcionalidades poderá introduzir alterações, não só ao nível da configuração obtida, como também da própria hipótese seleccionada.

Ainda no que respeita ao surf, refira-se que, tal como seria expectável, o grau de utilização da estrutura em condições “óptimas” encontra-se condicionado pela amplitude de maré local, embora se deva ter em conta que, por comparação com as condições actualmente existentes, o impacto benéfico proveniente da criação de um local de rebentação regular de ondas de qualidade é, aparentemente, e em todos os aspectos, superior às já existentes. Com efeito, e excluindo as condições em que as ondas serão pouco afectadas pela presença da estrutura, esta constitui-se como uma mais-valia, na medida em que, pelos menos do ponto de vista teórico, dificilmente proporcionará menos ondas de qualidade por comparação com as já existentes no local, devendo este aspecto ser analisado em maior profundidade numa fase posterior de dimensionamento.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O grande número de variáveis a considerar no dimensionamento de uma estrutura deste tipo (bem como a sua inter-dependência), obrigará a que a versão final do projecto do recife tenha de ser obtida por simulação numérica e física, de forma a controlar convenientemente cada um dos parâmetros fundamentais de concepção. Nesse sentido, apresenta-se abaixo uma síntese dos trabalhos que deverão ser conduzidos de forma a testar todas as possibilidades e domínios de aplicação da estrutura.

Convém salientar que os passos apresentados abaixo se referem exclusivamente a ensaios a realizar em modelo numérico. Posteriormente, e depois de obtida a configuração final da estrutura, dever-se-ão confrontar os resultados obtidos com um ensaio completo em modelo físico, averiguando o

comportamento do recife considerando a sua multifuncionalidade, de forma a realizar ajustes e correcções pontuais, quase sempre imprescindíveis. As principais características de ordem técnica a analisar são então as seguintes:

- **Optimização do posicionamento da estrutura:** através de ensaios hidrodinâmicos dever-se-á validar e, eventualmente, reajustar o afastamento e orientação do eixo da estrutura em relação à costa, partindo da configuração obtida neste estudo. Sugere-se a validação do posicionamento e orientação do recife, em fase inicial, através do mecanismo de formação de células de corrente, convergentes junto à costa em caso de acreção, o qual pode ser obtido de forma expedita com recurso a um simples ensaio hidrodinâmico.
- **Validação do grau de submergência “óptimo”:** embora a sua averiguação seja mais adequada no contexto experimental de um ensaio físico, é aconselhável testar a rebentação das ondas sobre a estrutura em, pelo menos, 3 cenários: 1,5 m (mínimo adoptado), 2 m e, eventualmente, 1m, focalizados na intensidade de rebentação.
- **Definição geométrica da secção inicial do recife:** tratando-se da zona de largada (*take-off*), uma área particularmente condicionada pelo fenómeno de *wave focusing*, a onda deverá empolar de forma não abrupta, prestando-se atenção ao possível rebentamento precoce de ondas de maior altura.
- **Optimização da configuração do talude lateral:** analisar a variação do ângulo de rebentação (que não deverá exceder o intervalo de 30 a 60°, em cenários extremos) em conjugação com a altura de onda ao longo da linha de rebentação (*breaker line*). A intensidade de rebentação tal como aparece descrita por Black e Mead (2001) deve, também, ser averiguada, aproximando simultaneamente o talude, o mais possível, a um perfil convexo, optimizando dessa forma o seu funcionamento para diferentes alturas de onda e níveis de maré.
- **Averiguação do efeito de um canal central:** as consequências resultantes da incorporação de um canal recortando longitudinalmente a estrutura, à semelhança do que acontece em Narrowneck, deverão ser estudadas no sentido de atenuar o efeito adverso das correntes de retorno sobre a extensão total da linha de rebentação. O seu impacto na eficácia de protecção costeira deverá ser também analisado, na medida em que poderá inviabilizar a sua utilização para uma possível distância “óptima” de afastamento à costa. Sugere-se, após os estudos de Van Ettinger (2005), o uso de um canal próximo de 10 metros, com um ângulo interno de 60° (crescente em direcção à costa), e um declive dos taludes interiores de 1:1. O talude da base da estrutura voltado à costa (*landward slope*) deverá ser tão inclinado quanto for exequível em termos construtivos.
- **Inclusão de Plataforma / Plataforma com fundo inclinado:** a inclusão de uma plataforma antecedendo a zona de rebentação será teoricamente benéfica, regularizando, dessa forma, a ortogonalidade de incidência das ondas sobre o talude. Em função da velocidade experimentada pelo surfista (V_s), a plataforma poderá revelar-se pouco adequada a praticantes amadores, muito embora a velocidade esteja igualmente associada ao ângulo do recife, o qual é susceptível de modificação sem prejuízo da diminuição do ângulo de rebentação (no contexto da teoria não linear de ondas). Alternativamente, uma plataforma inclinada poderá ser igualmente benéfica, considerando a forma como a onda se aproxima do recife, cumprindo assim o papel de fundo artificial. Outro aspecto central será definir qual a altura (fixa ou variável) de colocação da plataforma, tendo em conta a optimização do modo de rebentação, dada assim em função da altura do recife propriamente dito.
- **Cenários obrigatórios de ensaio:**
 - (1) **Surf:** será imperativo analisar o comportamento geral do recife através de ensaios com alturas de onda incidentes, H_{so} , de 1,5 a, pelo menos, 3 metros. Não se exclui a

possibilidade de ultrapassar este intervalo, sobretudo inferiormente, embora este regime seja considerado como o mais surfável. Eventualmente, e em função dos resultados obtidos, dever-se-á contemplar o dimensionamento “ótimo” da estrutura para uma altura de onda superior, como, por exemplo, $H_{1/10}$. Deve ainda ser atribuído particular relevo ao ensaio do recife com agitação irregular, uma vez tratando-se do cenário mais próximo da realidade (aspecto estudado numericamente por Over (2006), com o objectivo de determinar o número de dias anuais “surfáveis”, citando um exemplo constante na bibliografia);

- (2) **Defesa Costeira:** os ensaios deverão contemplar a altura de onda significativa considerada neste trabalho (3 metros), para o nível médio de maré adoptado. Nestas condições, será ainda oportuno realizar um ensaio de equilíbrio de praia a longo prazo. Não se exclui a possibilidade de testar a estrutura em condições mais severas, com maré máxima de ocorrência excepcional e uma altura de onda superior considerando-se, por exemplo, H_0 de 5 metros, com nível de maré + 4,0 m (ZH), de modo a intuir o tipo de reposta em termos de estabilidade estrutural.
- **Cálculo do volume de areia a mobilizar:** finalmente, interessa também averiguar qual a quantidade de areia a colocar na praia, dada em função do volume da saliência previsível num cenário a longo prazo, e impedindo, dessa forma, a remoção de areia dos fundos nas imediações do recife, por intermédio de correntes actuantes até à situação de equilíbrio ser atingida.
 - **Definição das condições de funcionamento da estrutura:** é importante, após definida a configuração final da estrutura em modelo numérico, sistematizar as condições de funcionamento contemplando a prática de surf, e apresentando, dessa forma, a informação relativa ao tipo de onda que rebentará sobre a estrutura, prioritariamente dada em função do ângulo de incidência da agitação, do nível de maré e tipo de rebentação, explicitando a altura, ângulo de rebentação e velocidade da onda previsível, associada a cada cenário. Estes dados darão uma perspectiva geral sobre a amplitude do que se poderá oferecer em termos de projecto, face à utilização da estrutura por parte dos surfistas, bem como às condições ideais em que estes a poderão usar consoante o seu nível de aptidões. Aconselha-se, então, a definição de cada cenário em correspondência com o nível de aptidão exigido e estilo de surf praticável para as condições definidas.

Será ainda de interesse referir alguns dos modelos que poderão ser utilizados na realização dos trabalhos propostos. Assim, e muito embora não seja do âmbito do presente estudo a descrição ou selecção dos modelos a utilizar, a bibliografia analisada aponta para que se prefigurem como adequados, para avaliação dos parâmetros relativos ao surf:

- COULWAVE – de uso recorrente em estudos de âmbito nacional (Ten Voorde, 2010; Proença, 2009; etc.), o qual se serve da aproximação de Boussinesq aplicada à modelação de ondas em águas superficiais. O modelo encontra-se amplamente descrito nas suas vantagens e limitações na bibliografia referida, contemplando a averiguação dos parâmetros de surf;
- alternativamente, a plataforma STWAVE, desenvolvida pelo USACE, sugerindo-se o recurso a um interface gráfico como o SMS (*Surface Water Modeling System*), tal como aparece citado no estudo de concepção de Hearin – ASR (2008).

Tendo em conta a averiguação da eficácia de protecção costeira:

- SMC (*Sistema Modelado Costero*), descrito em Costa (2009), essencialmente destinado à modelação de fenómenos de transporte e equilíbrio de praia;
- alternativamente, a plataforma SWAN, ou ainda um modelo que a integre, como o Delft 3D.

Uma vez que o número de reajustes à estrutura no decurso dos ensaios pode ser ainda considerável, aconselha-se a selecção de um modelo de utilização expedita e que, se possível, apresente um interface gráfico intuitivo, dada a complexidade que o recife poderá vir a assumir numa fase mais avançada.

BIBLIOGRAFIA

- Aguiar, A.G.M., Oliveira Filho, L.A.F., Valentini, E. (2009). *Proposed Artificial Surfing Reef for Macumba Beach, Rio de Janeiro – Brazil*. Reef Journal Vol. 1, Nº 1, 74-84 (versão electrónica), www.thereefjournal.com, acedido em Abril de 2010.
- Almeida, A. (2008). *Quantificação dos efeitos das marés meteorológicas na costa Oeste portuguesa*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- ASR America (2008). *A Review of Existing Multi-Purpose Artificial Surfing Reefs and the Physical Properties Behind their Function*. Relatório preparado para o estudo de viabilidade de implantação de recifes artificiais multifuncionais de surf ao longo da costa de Brevard County – Florida, Março de 2008.
- Bancroft, S. (1999). *Performance Monitoring of the Cable Station Artificial Surfing Reef*. Bsc. Thesis, University of Western Australia.
- Bezuijen, A., De Groot, M.B., Breteler, M.K., Berendsen, E. (2004). *Placing accuracy and stability of geocontainers*. Proceedings of EuroGeo 3, Munich, Germany.
- Black, K., Mead, S. (2001). *Wave rotation for Coastal Protection*. Proceeding Coasts and Ports, 1-8, Goldcoast, Queensland, Australia.
- Black, K., Mead, S. (2009). *Design of Surfing Reefs*. Reef Journal, 177-191, Volume 1, Nº 1, 2009 (versão electrónica), www.thereefjournal.com, acedido em Fevereiro de 2010.
- Borrero, J.C., Nelson, C. (2003). *Results of a Comprehensive Monitoring Program at Pratte's Reef*, www.surfrider.org, acedido em Fevereiro de 2010.
- Calabrese, M., Vicinanza, D., Buccino, M. (2003). *2D Wave Set Up behind Low Crested and Submerged Breakwaters*. Proceedings of the 13th International Offshore and Polar Engineering Conference, 25-30 de Maio, 2003, Honolulu, Hawaii.
- Coelho, C. (2005). *Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira*. Tese de Doutoramento, Secção Autónoma de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro.
- Costa, G. (2009). *Modelação de Quebramares Destacados*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Delos (2003a). *Inventory on LCS*, WP 1.1. (compreendendo questionários estruturados em diversas partes), Delos.
- Delos (2003b). *Wave Basin Experiment Final Form*, Deliverable 31 (compreendendo 3 relatórios técnicos), 20/06/2003, Delos.
- Hearin, J. (2009). *Preliminary Design of an Artificial Surfing Reef for Cocoa Beach, Florida*. Reef Journal, Vol. 1, Nº 1, 212-234 (versão electrónica), www.thereefjournal.com, acedido em Março de 2010.
- Henriquez, M. (2004). *Artificial Surf Reefs*. Dissertação de Mestrado, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology.
- Henriquez, M., Janssen, T.T., Van Ettinger, E.H.D., Reniers, A.J.H.M. (2006). *Refraction Controlled Surfability*. Proceedings of the 5th International Surfing Symposium.

- Herbich, J.B. (2000). Offshore (detached) breakwaters. In *Handbook of Coastal Engineering*, 5.1-5.97, McGraw-Hill Handbooks, Texas, EUA.
- Jackson, A.L., Corbett, B.B. (2007). *Review of existing multifunctional artificial reefs*. Australasian conference On Coasts and Ports, 2007.
- Maglio, C., Harris, L. (2009). *Shore Protection Design Utilizing Wave Rotation*. Reef Journal, Vol. 1, Nº 1, 192-200 (versão electrónica), www.thereefjournal.com, acedido em Junho de 2010.
- Mathew, J., Black, K., Baba, M., Kurian, N.P., Thomas, K.V. (2003). *Offshore, submerged reef on the southwest coast of India for coastal protection, recreation and public amenity*. Proceedings of the 3rd International Surfing Reef Symposium, 241-256, 22-25 de Junho, 2003, Raglan, New Zealand.
- Mead, S., Black, K. (2001). *Predicting the breaking intensity of surfing waves*. Special Issue Nº 29 of the Journal of Coastal Research, Capítulo 6.
- Over, R. (2006). *Surfability of an ASR in Irregular Waves*. Dissertação de Mestrado, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology.
- Pattiaratchi, C. (2003). *Performance of an artificial surfing reef: Cable Station, Western Australia*. COPEDEC VI, 2003, Colombo, Sri Lanka.
- Pereira, G.S. (2008). *Projecto de um quebramar destacado de protecção para a frente marítima de Espinho*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Phillips, D., Black, K., Healy, T. (2009). *Issues surrounding the Construction of Artificial Reefs by Detailed Examination of a Natural Headland*. Reef Journal, Vol. 1, Nº 1, 162-176 (versão electrónica), www.thereefjournal.com, acedido em Março de 2010.
- Pilarczyk, K.W. (2003a). *Alternative Systems for Coastal Protection. An Overview*. International Conference on Estuaries and Coasts, November 9-11, 2003, Hangzhou, China.
- Pilarczyk, K.W. (2003b). *Design of Low-Crested (Submerged) Structures – An Overview*. 6th International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, Colombo, Sri Lanka, 2003.
- Proença, B. (2009). *Estudo Numérico da Propagação de Ondas no Recife Artificial de S. Pedro do Estoril*. Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro.
- Ramos, A. (2009). *Evolução temporal das características da agitação marítima na costa Oeste portuguesa*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Ranasinghe, R., Turner, I.L. (2006). *Shoreline response to submerged structures: A review*. Coastal Engineering 53, 65-79.
- Ranasinghe, R., Turner, I.L., Symonds, G. (2006). *Shoreline response to multi-functional artificial surfing reefs: A numerical and physical modeling study*. Coastal Engineering 53, 589-611.
- Sánchez-Arcilla, A., Sierra, J.P., Cáceres, I., González, D., Alsina, J.M., Montoya, F., Galofré, J. (2006). *Beach Dynamics in the Presence of a Low Crested Structure. The Altafulla case*. Proceedings of the 8th International Coastal Symposium, 759-764, 2004, Itajaí, SC, Brazil.
- Scarfe, B.E., Elwany, M.H.S., Black, K. Mead, S.T. (2003). *Surfing Conditions around Jetties*. Scripps Institution of Oceanography Technical Report, University of California, San Diego, 6 March 2003.

Scarfe, B.E., Healy, T.R., Rennie, H.G. (2009). *Research-Based Surfing Literature for Coastal Management and the Science of Surfing – A Review*. Journal of Coastal Research Nº 25, 539-557, Maio de 2009.

Simioni, B.I., Esteves, L.S. (2010). *Avaliação Qualitativa do Desempenho dos Recifes Artificiais Multifuncionais (RAM)*. Revista de Gestão Costeira Integrada, Vol. 10 Nº 1, 127-145, Março de 2010, Associação Portuguesa de Recursos Hídricos / UNIVAL.

Smit, F., Mocke, G.P., Jackson, A.L. (2007). *Design and Construction Methodology of a Novel Multi-Functional Artificial Reef for Dubai*. Proceedings of the International Conference on Coastal Structures, 2007, Venice, Italy.

Stauble, D.K., Tabar, J.R. (2003). *The Use of Submerged Narrow-Crested Breakwaters for Shoreline Erosion Control*. Journal of Coastal Research, 19(3), 684-722. West Palm Beach (Florida).

Ten Voorde, M. (2010). *Contribution to the design of Multi-Functional Artificial Reefs*. Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade de Coimbra/LNEC.

U. S. Army Corps of Engineers (2002). Estimation of Nearshore Waves. In *Coastal Engineering Manual*, II – V.

Van Ettinger, H. D. (2005). *Artificial Surf Reef Design*. Dissertação de Mestrado, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology.

Veloso Gomes, F., Taveira Pinto, F., das Neves, L., Pais Barbosa, J. (2006). *Pilot Site of River Douro – Cape Mondego and Case Studies of Estela, Aveiro, Caparica, Vale de Lobo and Azores*. EUrosion, IHRH, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. ISBN: 972-752-074-x.

West, A. (2002). *Wave Focusing Surfing Reefs: A New Concept*. Dissertação de Mestrado, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology.

Apontamentos da disciplina de Trabalhos Marítimos 1. *Teoria Linear – Solução de Airy* pelo Prof. Veloso Gomes, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

ASR Ltd. Reef Presentation by Dr. Kerry Black. *Multi-Purpose Ocean Reefs: Understand, Innovate, Sustain*. www.asrltd.co.nz, acedido em Janeiro de 2010.

<http://earth.google.com>, acedido em Fevereiro e Março de 2010.

<http://surfinside.com>, acedido em Maio de 2010.

<http://www.coastalmanagement.com.au>, acedido em Fevereiro de 2010.

<http://www.delos.unibo.it>, acedido em Fevereiro de 2010.

United States Patent Application Publication, *Artificial Reef and a Method of Constructing an Artificial Reef*. Inventors: Kerry Peter Black, Raglan (NZ) and Shaw Trevor Mead, Raglan (NZ). Publication Number: US 2009/0297270 A1, Publication Date: December 3, 2009.

**ANEXO A1 – RESULTADOS RELATIVOS AOS QUESTIONÁRIOS PRELIMINARES CONDUZIDOS NO ÂMBITO DO
PROJECTO DELOS**

Notas:

- Os campos estão preenchidos tal como constam no *Inventory Summary* apresentado em www.delos.unibo.it
- Na coluna “Propósito”, a notação “AA” refere-se a uma estrutura construída com o intuito de proteger a frente urbana de erosão;
- Na coluna “Tipo”, a notação “A” identifica uma estrutura destacada, ao passo que “E” se refere a uma combinação de um ou mais tipos de estruturas;
- A sombreado encontram-se os dois casos destacados em 2.2.4.4.

Tabela A1.1 – Casos de interesse constantes nos resultados do questionário preliminar relativo ao *Projecto Delos*

País	Local	Propósito	Tipo	Nº Estruturas	B [m]	Gap [m]	Distância, X [m]	R _c [m]	Largura B [m]	Profundidade h [m]	Maré [m]	Alimentação (S) / (N)	Resposta Praia	Comentários
IT	Pellestrina	AA	E	8	200		300	-1,5	8	4	1	Sim	Saliência em baixa-mar	Número exacto de estruturas é desconhecido
		-	-	8	200		300	-2	6	4	1			
IT	Paola-San Lucido	AA	E	17	500		55	-1,75	20	6,5	0,5	Sim	–	
IT	Fiumicino-Focene	AA	E	1	1400		200	-2	25	3,5	0,4	?	–	
IT	Agrigento	AA	A	1	270	30	100	-1	15	6	0,4		Tômbolo	
IT	Senigallia	AA	A	4	80	20	150	-0,5	10	3	0		Tômbolo	
ES	Playa de la Ermita (La Ermita Beach)	AA	A	1	115		70	-1,5	7	2,5	0,4	Sim	?	
ES	Playa del Zapillo (Zapillo Beach)	AA	E	1	412		170	-2,5	3	5,5	0,6	Sim	?	
ES	Playas del Palo (Palo Beaches)	AA	A	4	135		125	-1,75	5	3,9	0,8	?	?	
ES	Playa de Fañabé (Fañabé Beach)	AA	E	4	60		200	-1	16	5	2,5	?	?	
ES	Playa Jardín (Jardín Beach)	AA	E	1	560		100	-2,6	13	5	2,7	Sim		Variação da secção transversal

ANEXO A2 – FORMULÁRIO E DADOS DE INQUÉRITO

Notas:

- O inquérito reproduz-se seguidamente na íntegra, precedendo o mapa com a numeração dos locais atribuídos à frente marítima do concelho, para facilidade no tratamento estatístico dos esquemas apresentados pelos surfistas.
- No preenchimento das células correspondentes às respostas dos inquiridos (tabelas A2.1. a A2.5.) tentou manter-se, tanto quanto possível, a reprodução fiel das mesmas, não obstante algumas terem sido sujeitas a encurtamento, por razões de ordem prática que se prendem com a simplicidade de apresentação de resultados.
- Na tabela A2.5., as nomeclaturas *b_e* e *b_d* simbolizam um recife com um único talude (“barra”) a rebentar para a esquerda e para a direita, respectivamente.
- De modo a facilitar o relacionamento entre cada número de referência e o nível de aptidão dos surfistas, ao longo das cinco tabelas de resposta, foi adoptado o seguinte código de cores:



Nível Amador



Nível Amador-Avançado



Nível Profissional

Estudo de um Recife Artificial para surf e defesa costeira na praia de Espinho em materiais geossintéticos

(no âmbito de tese de Mestrado Integrado em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP)

CASO NÃO TENHAS ESPAÇO PARA RESPONDER, PODES E DEVES USAR O VERSO DA FOLHA.

1. Caracterização do surfista:

Idade: Sexo: Peso: Altura:

Regular ou Goofy (*pé de trás, direito ou esquerdo, respectivamente*)?

Anos de Experiência:

Nível de Experiência (sublinhar opção em baixo):

 Iniciado / Amador / Amador-Avançado / Profissional

a) Em que altura do ano costumás surfar mais:

i) Em Espinho?

ii) Fora de Espinho?

b) Dentro do período do ano que referiste acima, com que frequência costumás surfar (*o número médio de vezes; indica se o valor que indicaste é por semana ou por mês*):

i) Em Espinho?

ii) Fora de Espinho?

2. Prática de surf

a) **Preferes** esquerdas ou direitas? (refere se as ondas que escolheste são frequentes em Espinho)

b) **Preferes** ondas moles ou cavadas? (refere se as ondas que escolheste são frequentes em Espinho)

c) Em termos globais, que género de ondas preferes para surfar (*se possível, quantifica os parâmetros que mencionares, por ex: "prefiro ondas de mais ou menos 1,5 metros, não muito rápidas, etc."*)?

- d) Que tipo de manobras costumavas executar, e **onde** (*a nível nacional e, se for o caso, internacional*)?
- e) Que tipo de manobras consegues executar em Espinho, e **em que praias do concelho**?
- f) No mar de Espinho, qual a principal dificuldade que sentes para desenvolver o teu surf, e **porquê**?

3. Equipamento

- a) Que tipo de prancha usas a **maior parte das vezes** (*Bodyboard, Shortboard ou Longboard, indicando o respectivo comprimento*)?
- b) Material (epoxy, fibra de vidro, etc.):
- c) *Shaper* (ou fabricante da prancha) e local de fabrico:
- d) Consideras a tua prancha mais vocacionada para:
 - i) ondas grandes ou pequenas (*indicar altura aproximada da onda*)?
 - ii) ondas lentas, intermédias ou rápidas?

4. Recife

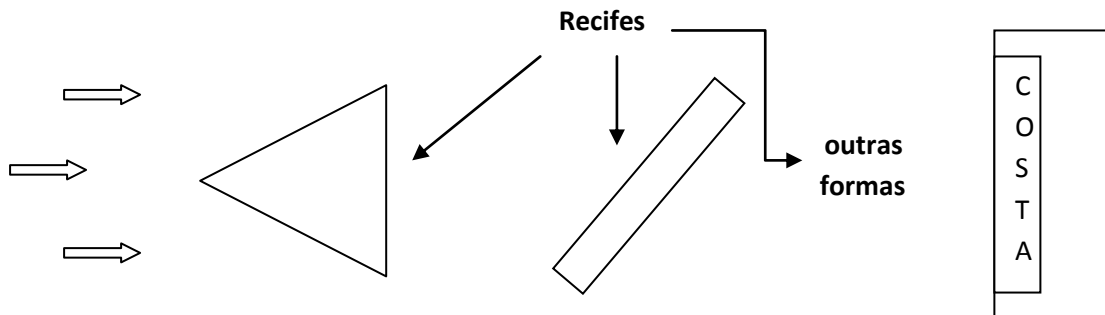
- a) Quais são, na tua opinião, os principais problemas de Espinho relativamente à protecção costeira? Que soluções propões?

b) Na **folha seguinte** apresenta-se um mapa da orla costeira do concelho de Espinho.

- 1) Assinala com **X** os locais onde há, neste momento, melhores condições para o surf.

Um recife artificial pretende ser uma estrutura para “guiar” as ondas, de forma a que estas se comportem de determinada maneira no que toca a altura, ângulo, tipo e zona de rebentação, bem como comprimento de secções sendo que, para a melhoria de alguns destes parâmetros, por vezes é necessário prescindir de outros. **Também serve como obra de defesa costeira.**

- 2) Indica **no mapa**, com uma **seta**, possíveis localizações para um recife artificial, que consideres que permitam um melhoramento do surf no concelho (refere o que é que o recife, nessas zonas, iria melhorar ou criar).
- 3) Desenha, **no mapa**, possíveis soluções para a instalação do recife (vê exemplos de alguns tipos de recife abaixo). **JUSTIFICA a solução que escolheste.**



O primeiro exemplo, em triângulo, permite esquerdas e direitas, o segundo depende do ângulo de orientação (neste caso permite esquerdas). As formas e orientações dos recifes podem variar muito, consoante o local.

- 4) Tens mais alguma sugestão ou comentário relativamente a estas questões?

Obrigado pela tua contribuição!





Figura A2.1. – Numeração de locais no mapa para tratamento de dados

Tabela A2.1. – Respostas ao Grupo 1 (caracterização do surfista)

Nº Referência	1. Caracterização do surfista						1. a) (i)	1. b) (i)	1. a) (ii)	1. b) (ii)
	Idade	Anos Experiência	Nível Experiência	Peso [Kg]	Altura [m]	Regular ou Goofy	Altura do ano em que surfa mais Espinho (i)	Frequência (i)	Altura do ano em que surfa mais fora de Espinho (ii)	Frequência (ii)
1	24	6	Amador-Avançado	68	1,66	R	Setembro a Maio	3	Todo o ano	2
2	29	19	Amador-Avançado	60	1,67	Bodyboarder	Todo o ano	2,5	Todo o ano	1
3	31	19	Profissional	80	1,78	Bodyboarder	Todo o ano	5	Todo o ano	2
4	31	4	Amador	53	1,64	Bodyboarder	Abril a Outubro	3,5	NA	0
5	29	6	Amador	87	1,83	R	Verão e férias (Natal e Páscoa)	4	Verão	7
6	24	12	Amador-Avançado	60	1,70	Bodyboarder	Inverno	1M	Todo o ano	3
7	31	?	Amador	76	1,81	G	Verão e Outono	3,5	Verão	1
8	22	?	Amador	76	1,80	R	Outono à Primavera	1M	Verão	4
9	26	5	Amador	80	1,80	G	Verão	5	Verão	7
10	37	23	Amador-Avançado	78	1,76	G	Todo o ano	4,5	Todo o ano	4,5
11	26	?	Amador-Avançado	85	1,84	R	Inverno	1M3	Todo o ano	3,5
12	24	8	Amador	66	1,71	R	Todo o ano	2	Raramente no Inverno	0
13	29	?	Amador-Avançado	120	1,92	Bodyboarder	Todo o ano	3,5	Verão	1M
14	31	?	Profissional	73	1,76	G	Todo o ano	5	Todo o ano	3
15	24	5	Amador	70	1,70	R	Todo o ano	3	Todo o ano	1M
16	44	35	Amador-Avançado	69	1,70	G	Todo o ano	3	Inverno	2
17	21	?	Profissional	63	1,78	G	Verão-Inverno	4,5	Verão-Inverno	5
18	27	10	Amador	70	1,80	R	Todo o ano	1	Todo o ano	1

Tabela A2.2. – Respostas ao Grupo 2 (1ª parte – características funcionais e condicionantes)

	2 a)	2 b)	2 c)	2 c) (complementar)	2 f) (pela ordem apresentada em 3.4.)
Nº Referência	Direitas ou Esquerdas	Moles ou Cavadas	Altura onda	Características gerais da onda à excepção da altura	Principal Dificuldade
1	D	C	1,5	com força , alternando secções deitadas com cavadas, compridas	Quando o mar sobe
2	E	C	entre 1 e 2	tubulares, rápidas, com junções	fundos e ventos (leste) pouco consistentes
3	E	C	> 1,5, até 3 e 3,5		fundos variáveis
4	E	M	1 a 1,5 m	não muito rápidas	correntes e instabilidade dos set's de ondas
5	D	M	até 1 m	moles	crowded com muitos níveis de aprendizagem (difícil evoluir), pouca comunicação entre os surfistas
6	D	C	1,5	Cavadas com força e não muito longas	Fundos móveis
7	E	C	1 a 2 m	tubulares, com secção inicial mais lenta	Fundos e ventos de norte
8	D	M	1 a 2 m	a entubar mas não demasiado cavadas	poucas ondas boas, crowded
9	E	M	1 m	moles, rápidas e lentas	Fundos móveis (as grandes ondulações não rebentam de forma ordenada)
10	Sem Pref.	C	1 a 2 m	com força, cavadas, perfeitas com certa velocidade	Fundos móveis (faz com que os picos variem de um mês par ao outro)
11	E	C	> 1,5/2 m	várias secções, cavadas e rápidas até lentas e moles	crowded
12	D	C	1,5 a 2 m	um pouco cavadas, não muito rápidas	Fundos e temporais
13	E	C	1,5 a 2 m	não muito rápidas	Faltam balneários e condições todo o ano
14	Ambas	C	2 m	cavadas e tubulares com junções em V (tipo Wedge)	Falta de junções para manobras aéreas, fundo dependente de ventos e ondulações
15	E	C	1,5 a 2 m	cavadas, rápidas	Em dias agitados, falta de canal para chegar ao out-side
16	E	C	2 a 2,5 m		fundos e vento
17	surf: E bb:D	C	> 2,5 m	não muito rápidas	consistência das ondas, raro estar em boas condições
18	D	C	1,5	rápidas	Fundos estão sempre a mudar

Tabela A2.3. – Respostas ao Grupo 2 (2ª parte – manobras)

	2. d)	2. e)
Nº Referência	Tipo de manobras executadas (nacional ou internacionalmente)	Tipo de manobras executadas em Espinho, e praia respectiva
1	Peniche: tubos; Matosinhos: batidas, cut-backs, aéreos	Baía do casino: tubos, rasgadas, off the lip; Pescadores: tubos, cut-backs, round-houses, off the lip, floaters
2	São Jacinto: invert e reverse aéreo; Nazaré/Supertubos: tubos	Todo o tipo de manobras em todas as praias do concelho
3	Todas as manobras	Todas
4	Espinho: 360º, drop-knee	360º, drop-knee
5	Praticamente só pratico em Espinho: corto a onda e vou seguindo a onda	Gosto da praia de Paramos pois é pouco crowded, faço as mesmas manobras já indicadas – corto as ondas
6	Tubo, ASR's 360, invertidos, 360, etc. Executo quando a onda permite, querm Portugal quer fora	Baía, Fiscais, Pescadores: quase todo o tipo de manobras
7	Cut-back, batidas, hang-five	Cut-back, batidas, hang-five
8	Drop, cut-back	As mesmas da alínea anterior
9	Só corto as ondas	Só corto as ondas
10	Cut-back, hang-five, hang-tem, cut-back-knee e tudo o que envolva longboard e tubos quando a onda permite	Todas, dependendo das correntes e do mar
11	Batidas, hang-fives, cut-backs	Batidas, hang-fives e cut-backs
12	Cut-back, rasgada, batidas, tubo	Silvalde e Paramos: cut-back, rasgada, batida, tubo
13	Normal, invertido, rolo e aéreo	Todas em todas as praias
14	Todas, se bem que as manobras aéreas são de difícil execução, pois as ondas não ajudam	Como já foi referido todas as manobras, mas como as aéreas são menos frequentes, executo normalmente manobras na “face” da onda
15	-	Baía, Silvalde, Paramos: floaters, batidas, tubos
16	Carcavelos: Tubos, Espinho: off the lip, bottom turn, roller coast, cut-back, etc.	Todas (com mais dificuldade o tubo)
17	(Espinho, Ericeira, Espanha, França, Marrocos) – Bodyboard: air rollo, normal aéreo, invertido, 360, 720, tubos; Shortboard: cut-back, floater, tubos, batidas	(praias de Silvalde, Paramos, Baía, e tb na Granja) – Bodyboard: rollo, tubos, 360, 720, invertidos; Shortboard: tubos, cut-back, batidas, etc.
18	Rasgadas em Espinho	Espinho: Rasgadas e Floaters

Tabela A2.4. – Respostas ao Grupo 3

	3. a)	3. b)	3. c)	3. d) (i)	3. d) (ii)
Nº Referência	Tipo de prancha e frequência de utilização	Material	Shaper (ou fabricante) e local de fabrico	Prancha vocacionada para ondas grandes ou pequenas?	Prancha vocacionada para ondas lentas, intermédias ou rápidas?
1	Shortboard (5'10" a 6'3")	Fibra ou epoxy	Nacional: Poler; Internacional: Al Merich, Ricardo Martins (BRA)	Com a 5'11" (que uso mais) posso surfar de 0,5 a 1,5 m; com a 6'1" de 1,5 a 2,5 m	5'11": lentas e intermédias; 6'11": rápidas e cavadas
2	Bodyboard de 3' a 5'	Polietileno	WrRider (Taiwan)	Grandes	Rápidas
3	Bodyboard 4'1"	PP e PE	Manta ReoFisher	(tubos, ondas clássicas) 1, 3 e 5 m	Rápidas
4	Bodyboard ≈ 1,10 m	-	Manta	Ondas pequenas	Lentas / intermédias
5	7'2" mas prefiro pranchas maiores e mais estáveis	Fibra de vidro	Nick "Ulrick" (Ericeira)	Ondas pequenas/médias ≈ 1,5 m para um surf em aprendizagem	Intermédias
6	Bodyboard	PP	-	1,5 m	Intermédias a rápidas
7	Shortboard (6'4"); Longboard (9'4")	Epoxy e fibra de vidro	Southpoint e Luffi	Shortboard: 1 a 2 metros; Longboard: 0,5 a 1,0 m	Intermédias
8	Bodyboard e Longboard	Fibra de vidro (LongBoard)	"Hb" (bodyboard) e "Luffi" (longboard)	Bodyboard: a partir de 1,5 m e cavadas; Longboard: até 1,5 m e moles	Bodyboard: rápidas; Longboard: lentas/intermédias
9	Shortboard 6'10"	Epoxy	Southpoint	Pequenas/médias (1-2 m)	lentas
10	Longboard: 9'0"; 9'2"; 10'0"; Malibu: 8'0"	Epoxy e fibra de vidro	Luffi, Sprout e Surftech	Tanto para o mar mais alto e rápido assim como pequeno e lento, daí ter uma gama alargada de pranchas	Lentas e pequenas: Longboard 10'0"; rápidas: 9'0"; médias: 9'2" ou a malibu 8'0"
11	Longboard 9'1" (2,70 m)	Fibra de vidro	Lufiboards (Costa da Caparica)	Médias a grandes (acima de 1,5 m)	Intermédias e rápidas
12	Shortboard 6'2"	Poliuretano e fibra de vidro	Picos (Ericeira/Mafra)	1 m/1,5 m	intermédias
13	Bodyboard 4'2"	PP	Manta	1,5 a 2 m	todas
14	Bodyboard: 4'1"; 7'5"	PP	Science e Mike Stewart	Varia consoante o tipo de onda, mas normalmente uso prancha para 1,5 m	intermédias
15	Shortboard 6'2"	Fibra de vidro	-	1,5 a 2 m	intermédias
16	7'0" ou malibu	fibra	Semente ou outras	grandes	rápidas
17	Bodyboard: 4'15" Shortboard: 6'1" e Longboard: 9'1"	Epoxy e fibra de vidro	Arte Local em Espinho	O que se adequa mais ao meu estilo de ondas grandes é 6'8"	rápidas
18	8'7"	Fibra de vidro	Surf Local (Espinho)	Pequenas	intermédias

Tabela A2.5. – Respostas ao Grupo 4

	4. a)	4. a) continuação	4. b) (1)	4. b) (2) e (3)
Nº Referência	Problemas de erosão	Soluções protecção costeira	Bons locais para surf	Localização Recife
1	erosão mais a sul	Draga automática na Foz do Douro, recife artificial. Paredões não são 100% eficientes e acabam com as ondas	3, 6, 9, 12 (2010 tem sido um ano atípico, com swell a entrar de S e SE)	4 (delta) e 7 (delta afastado e orientado a NW), 2 e 5 (b_e), 3 e 6 (b_d)
2	erosão das praias e consequente avanço do mar		2, 3 e 6	4, 7 e 13 (delta); 9 (b_d) e 11 (b_e)
3	-	Recife bem fora da costa para cortar a ondulação	2 e 3	4 mais a Sul e afastado, 7, 10 e 13 (delta)
4	alteração das correntes devido à colocação de esporões a norte de espinho (Foz do Douro/Matosinhos)	Planeamento e estudo ambiental para encontrar soluções conjuntamente e não isoladamente	a Norte de 4	4 e 10 (delta); 3 e 9 (b_d) e a Sul de 4 e 11 (b_e)
5	degradação dos esporões e redução do areal (Granja, por exemplo)	reparação dos esporões, eventual colocação de um novo esporão ou a extensão dos actuais	1, 3, 4, 6, 10, 11, 12	4 (delta)
6	défi ce de areia que chega à praia por transporte longitudinal	recife artificial multifuncional	2 mais a norte e 3	4 (delta)
7	Pouca areia na baía	-	3 e 6	1 e 4 um pouco mais a Sul e ligeiramente inclinado (delta); 2 (b_e) e 3 e 6 mais a Sul (b_d)
8	-	Os esporões são indispensáveis em Espinho, recife artificial (até pelo turismo que gera)	2 a Norte, 3, 7 a Norte, 12, 14	2 a Norte, 4 (delta)
9	erosão, principalmente entra a 23 e 31, praia imediatamente a Sul do esporão de Silvalde, em Silvalde a construção de restauração poderá ser um problema, em Paramos a construção ilegal não é grande problema porque há defesa aderente	-	2 junto à costa, 3, 4 e 4 mais a Sul (ambos junto à costa), 6, 9, 10, 11, 12, 13, 14 a Norte	4 ligeiramente inclinado (delta)
10	Construções de esporões a norte (Gaia e Foz) que alteram a corrente de sedimentos.	Alguma forma para que a sedimentação voltasse a existir	2 junto, 3 na cabeça, 5 junto à costa, 6, 9 dentro, 11 dentro, 12, 13 dentro	4 mais a Sul inclinado (delta/meia lua)
11	diminuição do areal e consequente avanço do mar para a zona urbana	reposição artificial de areias, construção de um recife artificial ou quebramar destacado	3 e 6	4 e 7 ambos mais a Sul (delta, esq 60 e direita 30)

Tabela A2.6. (continuação) – Respostas ao Grupo 4

	4. a)	4. a) continuação	4. b) (1)	4. b) (2) e (3)
Nº Referência	Problemas de erosão	Soluções protecção costeira	Bons locais para surf	Localização Recife
12	erosão rápida das praias, recuo das dunas, construção sem planeamento	-	3, 5, 6 dentro	4 (delta), 13 (b_d)
13	-	Demolir as casas junto ao mar. "Deixar para o mar o que é dele"	2, 3, 4, 6, 9, 12, 15	1 (delta), a norte de 5 (-)
14	protecção encontra-se estável há alguns anos	fundos artificiais no out-side, para evitar remoção de areias levadas pela rebentação. O aumento e manutenção dos esporões parece ser menos eficaz e mais caro a longo prazo	2 dentro, 3, 4 Norte, 6	4 dentro (delta), 9 (b_d)
15	Muita erosão, principalmente em Silvalde, em que se nota facilmente a mudança da praia entre Verão e Inverno	-	3, 6	9 e 12 (b_d), 11 e 14 (b_e)
16	-	construção de recifes artificiais	1, 3, 5 Norte, 6, 9 Sul	1, 4, 7 (delta); 3 (b_d)
17	-	mais bancos de areia	3, 5	1 e 2 (delta)
18	vento, pois destrói a ondulação toda	-	3	4 (b_d)

ANEXO A3 – TABELAS REFERENTES À ANÁLISE PRELIMINAR

Nota:

- Nas tabelas A3.1. a A3.10. são apresentados os cálculos relativos à análise para cada um dos dez cenários.
- As tabelas A3.11. e A3.12 sistematizam, respectivamente, os resultados globais para os dez cenários considerados, bem como a indicação dos máximos por cenário.

Tabela A3.1 – Computação dos resultados para o Cenário 1

Cenário 1		Critérios Ponderados							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação final
	22,0%	22,0%	8,0%	5,0%	8,0%	15,0%	8,0%	12,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	2,6
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	3,0
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	3,9
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	4,2
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,4
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,5

Tabela A3.2 – Computação dos resultados para o Cenário 2

Cenário 2		Exclusivamente Protecção Costeira e Surf, Idênticamente Ponderados							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e Segurança	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	50,0%	50,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	2,0
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	4,0
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	3,8
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	4,0
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,5
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,3

Tabela A3.3 – Computação dos resultados para o Cenário 3

Cenário 3		Operacionalidade							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e Segurança	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	30,0%	30,0%	30,0%	0,0%	0,0%	0,0%	10,0%	0,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	2,3
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	4,1
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	3,8
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	3,9
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,3
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,4

Tabela A3.4 – Computação dos resultados para o Cenário 4

Cenário 4		Potencial Turístico							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e Segurança	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	10,0%	40,0%	0,0%	10,0%	15,0%	20,0%	5,0%	0,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	3,0
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	2,9
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	4,0
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	4,4
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,7
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,9

Tabela A3.5 – Computação dos resultados para o Cenário 5

Cenário 5		Primazia à Defesa Costeira							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e Segurança	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	50,0%	15,0%	6,0%	2,0%	2,0%	8,0%	15,0%	2,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	1,6
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	3,7
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	3,6
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	3,8
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,2
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,0

Tabela A3.6 – Computação dos resultados para o Cenário 6

Cenário 6		Primazia ao Surf							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual e Fins Recreativos	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	15,0%	50,0%	6,0%	2,0%	2,0%	8,0%	15,0%	2,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	2,3
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	3,3
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	3,8
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	4,1
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,6
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,6

Tabela A3.7 – Computação dos resultados para o Cenário 7

Cenário 7		Integração no Meio e Sustentabilidade							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e Segurança	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	0,0%	0,0%	20,0%	30,0%	30,0%	20,0%	0,0%	0,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	4,1
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	2,4
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	4,3
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	4,5
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,5
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	4,3

Tabela A3.8 – Computação dos resultados para o Cenário 8

Cenário 8		Benefício Económico a Longo Prazo							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e Segurança	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	5,0%	30,0%	15,0%	5,0%	5,0%	15,0%	5,0%	20,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	3,0
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	2,9
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	3,8
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	4,5
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,4
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,8

Tabela A3.9 – Computação dos resultados para o Cenário 9

Cenário 9		Primazia a Fins Recreativos e Ocupação							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	5,0%	10,0%	3,0%	15,0%	15,0%	50,0%	0,0%	2,0%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	2,0
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	4,0
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	3,8
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	4,0
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,5
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,3

Tabela A3.10 – Computação dos resultados para o Cenário 10

Cenário 10		Critérios Idênticamente Ponderados							
Hipótese	Eficácia relativa a Protecção Costeira	Comportamento relativo ao surf e Segurança	Manutenção e Estabilidade Estrutural	Impacto Ambiental	Impacto Visual	Fins Recreativos e Ocupação	Experiências Antecedentes	Custo Aproximado da Obra	Classificação Final
	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	12,5%	100,00%
1	1	3	3,5	5	5	2	1	3,5	3,0
2	4,5	3,5	5	1,5	1	3	2	1	2,7
3	3,5	4	4	5	4	4	3	4	3,9
4	3,5	4,5	4	5	4	5	3	5	4,3
5	4	5	4	5	4	5	4	3,5	4,3
6	2,5	4	4	5	4	4	2,5	3,5	3,7

Tabela A3.11 – Resultados Globais

Hipótese	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Cenário 5	Cenário 6	Cenário 7	Cenário 8	Cenário 9	Cenário 10	Média Simples
1	2,6	2,0	2,3	3,0	1,6	2,3	4,1	3,0	2,0	3,0	2,6
2	3,0	4,0	4,1	2,9	3,7	3,3	2,4	2,9	4,0	2,7	3,3
3	3,9	3,8	3,8	4,0	3,6	3,8	4,3	3,8	3,8	3,9	3,9
4	4,2	4,0	3,9	4,4	3,8	4,1	4,5	4,5	4,0	4,3	4,2
5	4,4	4,5	4,3	4,7	4,2	4,6	4,5	4,4	4,5	4,3	4,4
6	3,5	3,3	3,4	3,9	3,0	3,6	4,3	3,8	3,3	3,7	3,6
Máximo	4,4	4,5	4,3	4,7	4,2	4,6	4,5	4,5	4,5	4,3	
Hipótese	5	5	5	5	5	5	4 - 5	4	5	4 - 5	

Tabela A3.12 – Média Simples e número de máximos por hipótese

Hipótese	Média Simples	Nº Máximos
1	2,6	0
2	3,3	0
3	3,9	0
4	4,2	3
5	4,4	8
6	3,6	0

